



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ETHERNET PRO METALICKÉ KABELY

ETHERNET FOR METALLIC CABLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Aleš Víteček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Václav Zeman, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**

Ústav telekomunikací

Student: Aleš Víteček

Ročník: 3

ID: 164436

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Ethernet pro metalické kabely

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce je zaměřena na rozbor specifikací pro Ethernet určených pro metalická vedení. Důraz bude kladen především na fyzickou vrstvu přenosu a parametry přenosového média, zejména na nejnovější kategorii 8. Cílem bude provést analýzu teoretických limitů informační propustnosti a návrh laboratorní úlohy demonstrující funkčnost této technologie.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] IEEE 802.3 Working Group home page [Online]. Available: <http://www.ieee802.org/3/>

[2] IEEE 802.3-2015 IEEE Standard for Ethernet

Termín zadání: 1.2.2017

Termín odevzdání: 8.6.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Zeman, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno

ABSTRAKT

Bakalářská práce „Ethernet pro metalické kabely“ se zabývá rozbořem technologie Ethernet, nejvyužívanější technologie pro chod počítačových sítí. Konkrétně je zaměřena na chod po metalickém vedení. Cílem práce je popis technologie, řešerše nejnovějších standardů Ethernetu, včetně nejnovějších kategorií metalických vedení. Dále práce popisuje návrh laboratorní úlohy a její následnou implementaci. Součástí je i podrobný návod k laboratorní úloze a referenční hodnoty měření.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ethernet, Standard 802.3, IEEE, LAN, fyzická vrstva, linková vrstva, analýza paketu, strukturovaná kabeláž, útlum, přeslech, laboratorní úloha

ABSTRACT

The bachelor thesis "Ethernet for Metallic Cables" deals with the analysis of Ethernet technology, the most used technology for running computer networks. Specifically, it is focused on transmission via metallic line. The aim of this thesis is description of technology, research of the latest Ethernet standards, including the latest categories of metallic lines. Laboratory tasks and its implementation are described below. This thesis also contains a detailed lab instructions and reference values.

KEYWORDS

Ethernet, Standard 802.3, IEEE, LAN, physical layer, data link layer, packet analysis, structured cabling, attenuation, crosstalk, laboratory task

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Ethernet pro metalické kabely* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu docentu Václavu Zemanovi za konzultace, trpělivost, odborné vedení a užitečné rady dané problematiky.

Brno

.....

podpis autora



Faculty of Electrical Engineering
and Communication
Brno University of Technology
Purkynova 118, CZ-61200 Brno
Czech Republic
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsáný v této bakalářské práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Místo

.....

podpis autora(-ky)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

ÚVOD	11
1. ETHERNET	12
1.1 Historie	12
1.2 Přednosti	12
1.3 Architektura technologie	13
1.4 Datový rámec Ethernetu	15
1.5 Linkové kódování	17
2. ETHERNETOVÉ STANDARDY	20
2.1 Prvotní Ethernet.....	20
2.2 Fast Ethernet.....	21
2.3 Gigabit Ethernet.....	21
2.4 10GEthernet.....	22
2.5 Současnost	22
3. METALICKÉ VEDENÍ V SÍTÍCH	24
3.1 Koaxiální kabel.....	24
3.2 Strukturovaná kabeláž	24
3.3 Kategorie 8	25
3.4 Hlavní parametry strukturované kabeláže	25
3.5 Informační propustnost.....	27
4. KONCEPCE A REALIZACE LABORATORNÍ ÚLOHY	29
4.1 Zachycení provozu včetně analýzy paketu	29
4.2 Měření útlumu a přeslechu na vedení strukturované kabeláže	32
4.3 Měření s automatizovanými testery sítí	34
5. LABORATORNÍ NÁVOD	36
5.1 Seznámení s úlohou	36
5.2 Teoretický úvod	37
5.3 Úkol 1. Zachycení provozu na Ethernetové sběrnici a následná analýza Ethernetového paketu	41
5.4 Úkol 2. Měření útlumu a přeslechů na blízkém a vzdáleném konci (NEXT, FEXT).....	44
5.5 Úkol 3. Měření s kabelovým kvalifikačním testerem.....	46

ZÁVĚR	48
LITERATURA	49
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	51
SEZNAM PŘÍLOH	52
A PŘÍLOHY	53
A.1 Pracovní skupiny 802.3	53
A.2 Schéma propojovací desky a osazovací plán.....	55
A.3 Výsledky měření	56
B OBSAH PŘÍLOŽENÉHO CD	60

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.1: Původní koncepce sítě Ethernet [2]</i>	12
<i>Obr. 1.2: Architektura technologie</i>	13
<i>Obr. 1.3: Příklad rozdělení fyzické vrstvy na dvě podvrstvy u 100BaseT [3]</i>	14
<i>Obr. 1.4: Standardizovaný Ethernet rámec [4]</i>	15
<i>Obr. 1.5: Zjednodušený tvar MAC adresy [6]</i>	16
<i>Obr. 1.6: Kód Manchester</i>	17
<i>Obr. 1.7: Konec rámce u Manchester kódu [1]</i>	17
<i>Obr. 1.8: MLT-3 kód</i>	18
<i>Obr. 1.9: DSQ-128 použit v PAM16 [9]</i>	18
<i>Obr. 2.1: Vývoj standardů Ethernetu na metalických a optických vedeních [12]</i>	23
<i>Obr. 3.1: Druhy stínění kabelů [13]</i>	25
<i>Obr. 3.2: Zapojení pro měření parametru NEXT [20]</i>	25
<i>Obr. 3.3: Zapojení pro měření parametru FEXT [20]</i>	26
<i>Obr. 3.4: Zapojení pro měření útlumu [20]</i>	25
<i>Obr. 4.1: Koncept pracoviště pro analýzu paketů</i>	25
<i>Obr. 4.2: Reálné zapojení pracoviště pro analýzu paketů</i>	25
<i>Obr. 4.3: Trend Unipro GbE [15]</i>	30
<i>Obr. 4.4: Diferenční sonda TDP0500</i>	31
<i>Obr. 4.5: Kabelová odbočka datového páru</i>	32
<i>Obr. 4.6: Koncept měření přeslechu</i>	33
<i>Obr. 4.7: Propojovací deska</i>	33
<i>Obr. 4.8: Schéma vnitřního zapojení konektoru Molex [18]</i>	34
<i>Obr. 4.9: Tester CableIQ Qualification [16]</i>	35
<i>Obr. 5.1: Ethernetový rámec</i>	37
<i>Obr. 5.2: Kód Manchester</i>	38
<i>Obr. 5.3: MLT-3 kód</i>	38
<i>Obr. 5.4: Pulzní amplitudová modulace</i>	38
<i>Obr. 5.5: Zapojení pracoviště pro analýzu paketů</i>	41
<i>Obr. 5.6: Zobrazení a) Ethernetového paketu b) MAC adresy</i>	43
<i>Obr. 5.7: Zapojení pracoviště pro měření přeslechů</i>	44
<i>Obr. 5.8: Propojovací deska</i>	44
<i>Obr. 5.9: Zobrazení útlumu vedení</i>	45

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1.1: Grayův kód v PAM16 [9].</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 2.1: Síť LAN.</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 3.1: Kategorie strukturované metalické kabeláže [15].</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 4.1: provoz na jednotlivých vodičích standardu 10BASE-T a 100BASE-TX.</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 5.1: Kategorie strukturované metalické kabeláže.</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 5.2: Tabulka pro výsledky měření úkolu 2.</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 5.3: Tabulka pro výsledky měření úkolu 3.</i>	<i>46</i>

ÚVOD

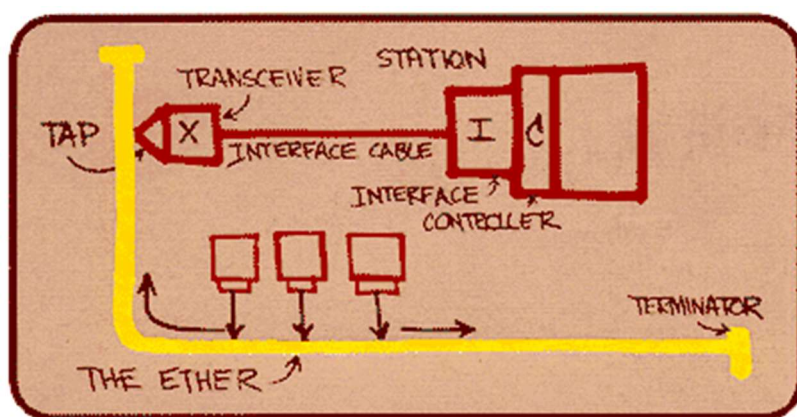
V této bakalářské práci je popsána technologie Ethernet, nejrozšířenější technologie pro chod lokálních počítačových sítí LAN (Local Area Network). Práce je zaměřena na popis funkčnosti Ethernetu po metalických vedeních. V první kapitole je podrobně rozebrána tato technologie, její vznik, architektura, systém přenosu dat. Druhá kapitola se zaměřuje na nejdůležitější standardy Ethernetu pro metalická vedení dle norem IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Tyto standardy jsou chronologicky seřazeny. Třetí kapitola je věnována strukturované kabeláži, jsou zde popsány základní parametry, princip měření těchto parametrů, které jsou důležité pro přenos dat. V dalších kapitolách je zmíněn původní koncept laboratorní úlohy, jejímž smyslem je názorně demonstrovat funkčnost technologie. Je také popsána její realizace, včetně volby měřících přístrojů. Laboratorní návod se snaží studenta nejdříve připravit teoreticky a na základě informací z nich získaných provede měření a vyhodnocení.

1. ETHERNET

Ve druhé polovině 20. století se objevují první osobní počítače a s nimi i první lokální sítě. Důvodem vzniku sítí byla potřeba sdílení tiskáren, různých periférií, později sdílení dokumentů, elektronická pošta atd. Jedna z technologií zajišťující chod takovýchto sítí je Ethernet. Jedná se v současnosti o nejrozšířenější typ lokálních počítačových sítí (LAN).

1.1 Historie

Ethernet byl vynalezen firmou Xerox. Zde ho vyvíjel od poloviny 70.let tým v čele s Robertem Metcalfem a Davidem Boggssem. Zprvu vznikla síť s rychlostí 2,94Mb/s a využívala k přenosu dat „tlustý“ koaxiální kabel. Začátkem 80.let ve spolupráci s dalšími významnými počítačovými společnostmi Intel a DEC se podařilo upravit Ethernet na vyšší rychlost 10 Mb/s. Tato verze je dnes známa jako DIX Ethernet, nebo také Ethernet II. V roce 1983 se vývojem Ethernetu začala zabývat organizace IEEE [2].



Obr. 1.1: Původní koncepce sítě Ethernet [2].

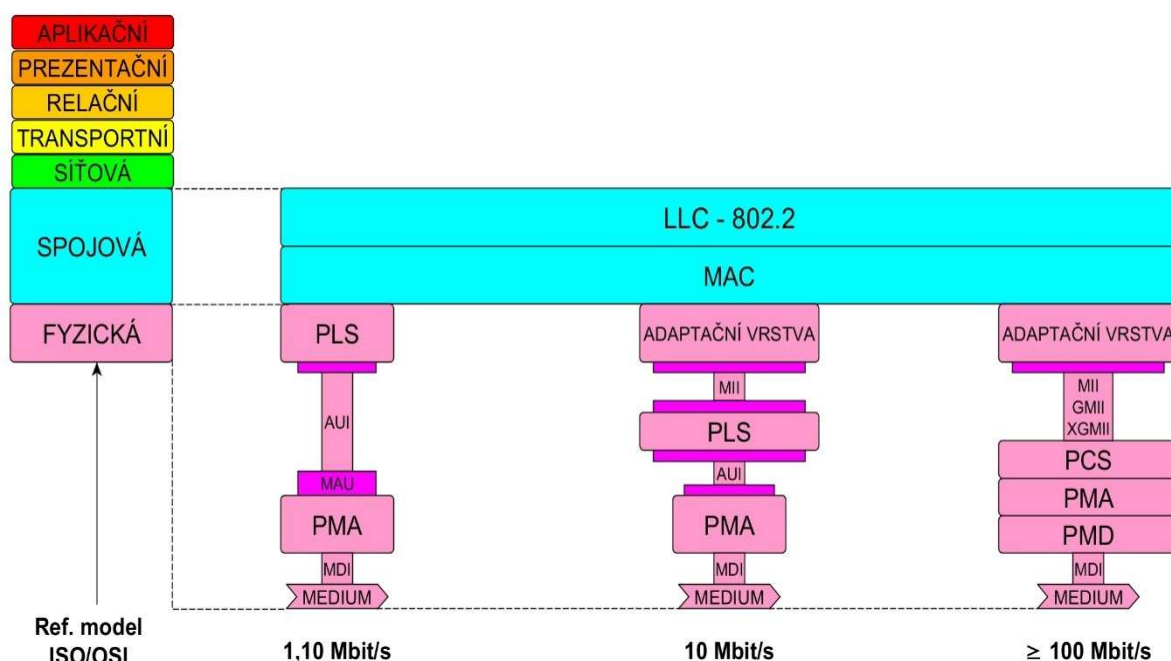
1.2 Přednosti

V devadesátých letech Ethernet ovládl svět počítačových sítí, kde je dominující do dnes. Oproti jiným technologiím (např. Token Ring IEEE 802.5) má schopnost přizpůsobit se neustále zvyšujícím nárokům na vývoj, především nárokům na rychlost přenosu dat. Můžeme použít různé typy přenosových médií. V minulosti díky jednoduché přístupové metodě, kterou tato technologie využívá (CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) a díky již zmíněné výborné adaptaci na narůstající požadavky se stala nejvyužívanější technologií. Příkladem může být právě přístupová metoda CSMA/CD, kterou v určité fázi vývoje bylo potřeba nahradit. Nahrazena byla přepínačem (switch) a vývoj pokračoval dál. Navíc díky všeobecnému rozšíření máme na trhu velké množství aktivních prvků určených pro Ethernet.

1.3 Architektura technologie

V referenčním modelu ISO/OSI je Ethernet ve dvou nejnižších vrstvách, na spojové a fyzické vrstvě. Spojová vrstva se dále dělí na dvě podvrstvy:

- **LLC (Logical Link Control)** - Standardizováno v normě IEEE 802.2. Původně měla podvrstva sloužit k usnadnění komunikace, tedy přepojování datových rámců mezi odlišnými technologiemi LAN. To dnes zajišťují vyšší vrstvy ISO/OSI.
- **MAC (Medium Access Control)** - Zajišťuje implementaci dané přístupové metody. U Ethernetu metoda CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection).



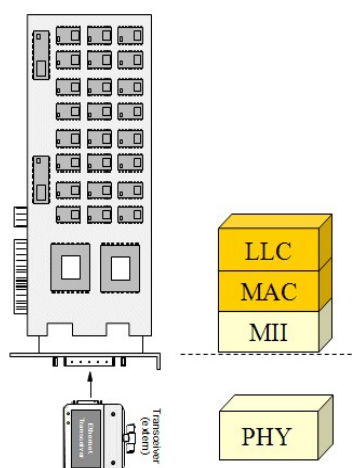
Obr. 1.2: Architektura technologie.

Pod MAC podvrstvou je vrstva fyzická (PHY). Příchozí rámce tu jsou upraveny do tvaru vhodného pro přenos určitým přenosovým médiem.

Na rozhraní podvrstvy MAC spojové vrstvy a vrstvy PHY v některých případech máme fyzickou reprezentaci (např. konektor) jen logickou, čili fyzicky nedostupné. V minulosti byl u 10megabitového standardu využíván tzv. AUI rozhraní (Attachment Unit Interface). Jeho konektor byl CANON s 15ti kontakty [1].

V současnosti se AUI rozhraní nepoužívá, s následujícím stomegabitovým standardem se zavedlo nové rozhraní mezi fyzickou a MAC podvrstvou – MII (Medium Independent Interface). Jedná se o rozhraní paralelní. Bitový obsah Ethernet rámce se předává ve skupinách bitů po čtyřech. MII je pokročilejší, lepší pro další kódovací proces na fyzické vrstvě. Je zpětně kompatibilní se starším AUI, tak jak je naznačeno v prostřední části obr. 1.2.

Na obr.1.3 je příklad této fyzické reprezentace, která je závislá na médiu. Znázorněna je jako samostatný prvek převodník (transceiver), ten je připojen k síťové kartě.



Obr. 1.3: Příklad rozdělení fyzické vrstvy na dvě podvrstvy u 100BaseT [3].

Síťové karty mají převodníky ve většině případů integrované, takže jsou určeny pro jeden typ přenosového média (logická reprezentace) [3].

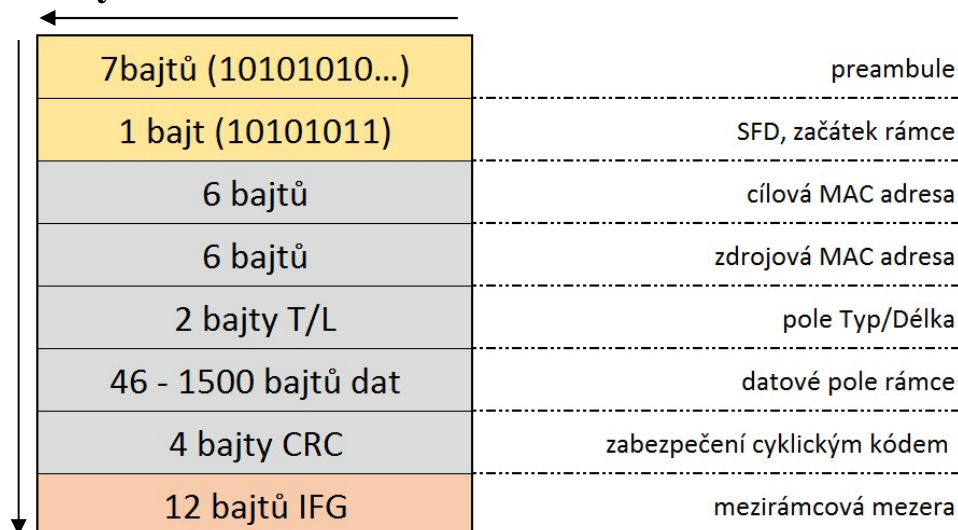
V posledním sloupci obr. 1.2 máme vyobrazen princip zpracování rámce pro nejrychlejší verze, data rámce jsou opět předávány ve skupinách bitů.

U Gigabitu je přenos v bajtech (8 bitů) s taktovací frekvencí 125MHz ($8 \times 125\text{MHz} = 1\text{Gb/s}$). Jde o rozhraní GMII (gigabit media-independent interface). 32bitové rozhraní používáno u 10Gigabitu je příhodně nazýváno XGMII. Je rozděleno do celkových čtyř obousměrných paralelních cest (LANE1-4) po osmi bitech na každý směr. Data rámce se postupně umísťují po bajtech na sběrnici v postupném sledu, tedy první N-tý bajt rámce se nejdříve umístí do záchytné paměti cesty LAN1, bajt N+1 do LAN2 atd. až do LAN4. Až následně s náběžnou i sestupnou hranou (pro další 32bitové slovo) taktovacího signálu s frekvencí 156,25MHz ($2 \times 32 \times 156,25\text{ MHz} = 10\text{Gb/s}$) se přenesou celé 32bitové slovo z adaptační vrstvy do příslušné kódovací subvrstvy – PCS (ležící v PHY) [1].

- **PLS (Physical Layer Signalling)** - U prvního standardu Ethernetu plnila funkci adaptační vrstvy. Stará se o přiřazení logicky definovatelných signálů MAC vrstvy na konkrétní fyzické signály AUI rozhraní. U fast Ethernetu zařizuje převod fyzických signálů mezi MII na starší AUI. V praxi skoro nepoužíváno, ale teoreticky možné.
- **ADAPTAČNÍ VRSTVA (reconciliation)** - Vrstva převádí logické signály MAC vrstvy na dané fyzické signály sběrnice MII, GMII či XGMII.
- **PMA (Physical Medium Attachment)** - Vrstva se stará o konečné převedení signálu do parametrů vhodných pro konkrétní fyzické přenosové médium. U metalických kabelů jde o převedení na vhodný průběh signálu s konkrétními hodnotami napětí.
- **PCS (Physical Coding Sublayer)** - Oproti PMD provede obecné překódování dat na jednotné pro více přenosových médií. Příkladem může být překódování 4B/5B pro Fast Ethernet, 8B/10B pro Gigabit Ethernet (optické vlákno), 64B/66B pro 10 Gigabit.
- **PMD (Physical Medium Dependent)** - Subvrstva pro rychlejší verze Ethernetu. U Gigabit a 10Gigabitů než bude signál poslán na přenosové médium, je ho potřeba vhodně překódovat. Jedná se o kódování, které je úzce spjato s konkrétním typem přenosového média, nejde tedy o totožné kódování pro všechny (jako u PCS).
- **MAU (Medium Attachment Unit)** - Technologie u starého 10 Mb Ethernetu (aktivní odbočka pro koaxiální kabel).

- **MDI (Medium Dependent Interface)** - Definuje nám konkrétní typ fyzického konektoru. Rozložení signálů z PMA do kontaktů konektoru (RJ-45).

1.4 Datový rámeček Ethernetu



Obr. 1.4: Standardizovaný Ethernet rámeček [4].

Tento rámeček slouží k samotnému přenosu dat mezi jednotlivými účastníky - koncovými body sítě. Veškeré rámce musí být delší, než je stanovena minimální délka. Důvod je dán z minulosti používané přístupové metody CSMA/CD.

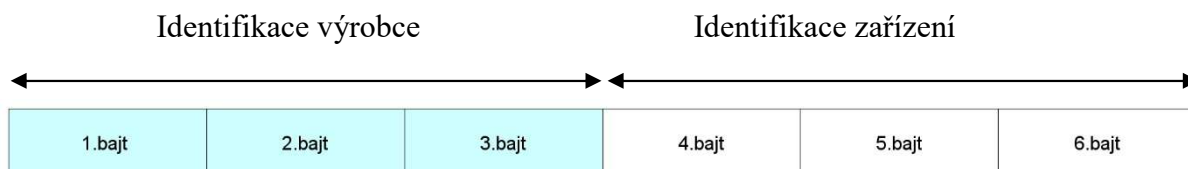
Stejně tak nesmí být rámeček delší, než maximální délka. A to z důvodu záruky akceptovatelné velikosti zpoždění [1].

Na obr. 1.4 je znázorněn Ethernetový rámeček (šedá část). Směr přenosu jednotlivých bitů na přenosové médium probíhá od prvního řádku, proces vysílání pak v pořadí od nejméně významného bitu ve směru odprava doleva, směrem dolů (viz znázornění pomocí šipek).

V naznačené jednoduché tabulce obr. 1.4 máme jednotlivé sekce. První dvě, tedy Preamble a SFD (Start Frame Delimiter) se nachází na fyzické vrstvě, spolu s rámečkem pak tvoří paket [5].

- **PREAMBULE** - Preamble se skládá ze sedmi za sebou jdoucích bajtů, které obsahují střídající 1 a 0 (10101010 – šestnáctkově AA). U nejstarších typů slouží k synchronizaci mezi vysílačem a přijímačem. Přijímaná strana musí znát takt, který je použit na vysílací straně. Pak správně vyhodnotí jednotlivé logické stavy. V opačném případě budou signály analyzovány v neoptimálních okamžicích, tedy může dojít k chybnému vyhodnocení logického stavu. U novějších verzích (od Fast Ethernet) je přijímač neustále synchronizován s vysílačem, čili zde je funkce preamble zbytečná. Zůstává ale z důvodu zpětné kompatibility se staršími verzemi. Střídání logických hodnot 1 a 0 v kombinaci s Manchester kódováním vytváří vhodný periodický signál určený pro lokální synchronizaci taktovacího signálu přijímače, například za pomoci smyčky fázového závěsu. Taková synchronizace je prováděna u každého přijatého rámce individuálně [1].

- **SFD (Start Frame Delimiter)** - Jedná se o tzv. identifikátor začátku rámce a tedy i o označení konce preamble. Tato část obsahuje jeden bajt tvořen bity 10101011. Levá část je pokračování preamble a dvě logické jedničky jsou tzv. hraniční indikátory. Za těmito dvěma bity okamžitě následuje MAC adresa koncového zařízení.
- **MAC (Media Access Control)** - Pro snadnější rozeznání koncových stanic v síti se používá jedinečný indikátor, tzv. MAC adresa, jinak nazývaná fyzická adresa. Jedná se o 48 bitové adresní pole, které je zapsáno v hexadecimálním formátu.



Obr. 1.5: Zjednodušený tvar MAC adresy [6].

Koncové zařízení (síťové karty) dostanou při výrobě celosvětově jedinečnou MAC adresu, která se dělí na dvě části po třech bajtech. První trojice je určena přímo výrobcí, tedy jeho identifikaci (případně modelové řadě karet) jedná se o tzv. OUI (Organizationally Unique Identifier). Druhou trojici již určí výrobce sám. Dle IEEE se neočekává rozšiřování adresového prostoru dříve než na konci století [7].

V sítích Ethernet se data mohou posílat třemi způsoby, podle kterých se liší i MAC adresa.

- UNICAST (od jednoho zařízení k druhému).
- MULTICAST (vícesměrové vysílání) - Data jsou odeslána předem definované skupině koncových zařízení. Takový způsob je značen v prvním bajtu a v něm jako poslední bit (0 - UNICAST, 1 - MULTICAST).
- BROADCAST (Všesměrové vysílání) - Odeslání všem koncovým zařízením. Adresa tohoto způsobu obsahuje samé jedničky.

Další dělení MAC adres je na univerzálně spravované a lokálně spravované. Rozlišení těchto dvou způsobů zajišťuje první bajt a v něm druhý nejméně významný bit (0 - univerzálně spravované, 1 - lokálně).

Výše uvedené lokálně spravované adresy jsou nastaveny správcem sítě a neobsahují OUI [8].

V Ethernetovém rámci je obsažena vždy nejdříve MAC adresa cíle a následně adresa zdroje.

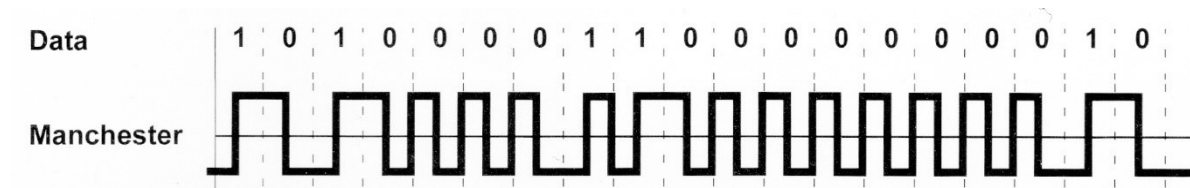
Ve zdrojové MAC adrese je vždy pouze typ UNICAST.

- **TYP A DÉLKA RÁMCE (T/L)** - O sekci DÉLKA (myšleno délka datového pole rámce) se jedná v případě, že je celková hodnota ≤ 1500 . Jestliže je hodnota ≥ 1536 jde o sekci TYP, tedy typ protokolu vyšší vrstvy (původní rámec Ethernetu).
- **DATOVÉ POLE (payload)** - Minimální délka je 46 bajtů a maximální 1500 bajtů.
- **ZABEZPEČENÍ CYKLICKÝM KÓDEM** - Jedná se o cyklický redundantní součet FCS (Frame Check Sequence). Ten zajišťuje detekci poškozených rámců.
- **MEZIRÁMCOVÁ MEZERA IFG (InterFrame Gap)** - 12ti bajtová mezi-rámcová mezera.

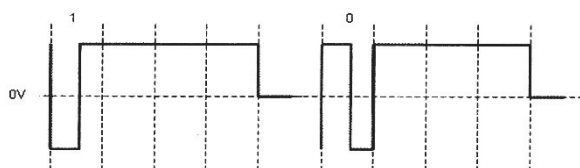
1.5 Linkové kódování

Přenášení samotné logické hodnoty 0 a 1 Ethernetového rámce, je nadefinované přiřazením konkrétního elektrického průběhu jednotlivým logickým úrovním. Tento proces zajišťuje Linkové kódování. V průběhu vývoje Ethernetu se měnilo i používání různých typů linkového kódování.

Prvním typem byl kód **Manchester** (obr. 1.6). Využit byl u všech verzí 10Mbit/s Ethernetu jak u koaxiálních, metalických, tak u optických vedení. Log. 1 u Manchester kódu v technologii 10BASE-T je na obr.1.6 jako vzestupná hrana obdélníkového tvaru signálu. Jde o skokový přechod od napětí nižšího k napětí vyššímu. U log. 0 je situace opačná, jde o sestupnou hranu. U 10BASE-T je stejnosměrná složka signálu nulová. Konec rámce je u této technologie oznámen kladnou hodnotou, na které se musí držet po čas 2-4 bitů (obr.1.7) [1].



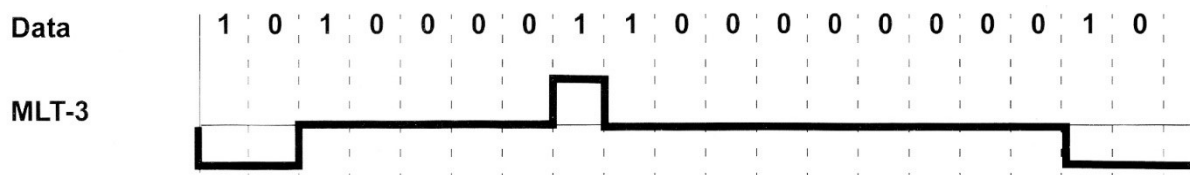
Obr. 1.6: kód Manchester.



Obr. 1.7: konec rámce u Manchester kódu [1].

S nástupem Fast Ethernetu se začalo využívat kódování **MLT3** (Multi-Level Transition) (obr. 1.8) a to u 100BASE-T4 která je určena čtyřem pářům UTP kabelu třetí, nebo lepší kategorie. MLT3 je použito i u 100BASE-TX pro dva páry UTP a dva páry stíněného kabelu STP (Shielded Twisted Pair). Signál MLT3 pracuje se třemi úrovněmi (+, 0, -). Každá změna signálu může reprezentovat více než jeden bit (kód Manchester každý bit reprezentoval změnou úrovně signálu). Kvůli velké robustnosti je ale přenášeno více bitů, než kolik by bylo nezbytně potřeba. Bit navíc vylepšuje možnosti detekce signálu.

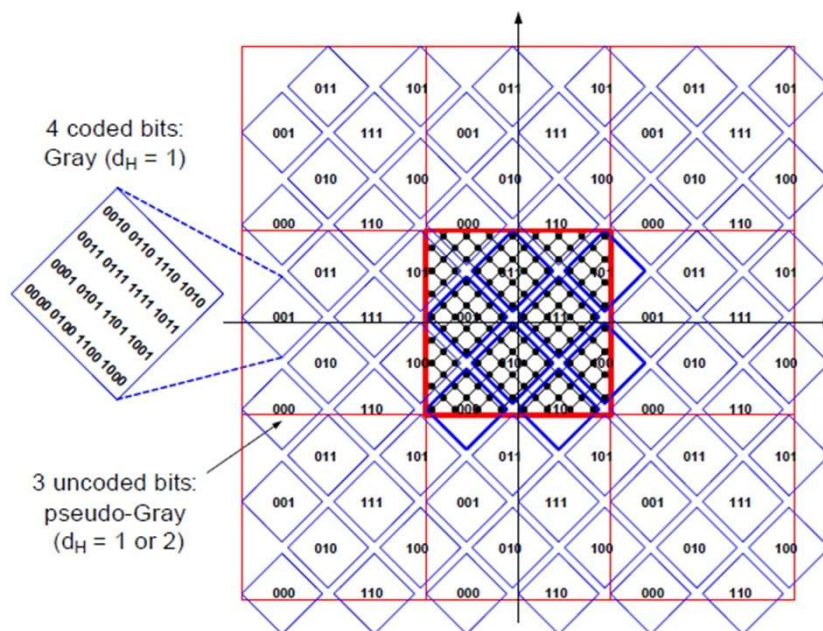
U 100BASE-T4 se čtyři bity doplní o bit a tato pětice je odeslána. Jednotlivé čtveřice se tedy nahrazují vybranými peticemi. Mezi peticí bitů musí být co nejvíce jedničkových bitů. Tento proces se nazývá kódování 4B/5B. Při přenosu starší kategorií UTP je použito ještě další kódování – 8B/6T. Jde o přenos osmi bitů pomocí šesti změn. Samotný přenos funguje na „rozložení“ datového toku do tří párů UTP a přenáší se vždy jedním směrem. Čtvrtý pár je využit pro detekci kolize, pro přístupovou metodu CSMA/CD [3].



Obr. 1.8: MLT-3 kód.

Další kódování Ethernetu po metalických kabelech je realizováno pomocí **PAM** (Pulzní Amplitudová Modulace). Jednotlivé verze Ethernetu využívají různé stupně této modulace.

- **PAM5** - Data jsou kódována do pěti různých stavů (1000BASE-T a 100BASE-T2).
- **PAM16** - Je využita u nejrychlejších verzí (2.5GBASE-T, 5GBASE-T, 10GBASE-T, 25GBASE-T, 40G BASE-T). Standard 802.3 definuje modulaci pro 10/25/40GBASE-T jako THP (Tomlinson-Harashima Precoded) verzi PAM s šestnácti úrovní kódování ve dvourozměrném šachovnicovém modelu známém jako DSQ128 posílanou v 800 milionech symbolů za sekundu. Pro 2.5/5GBASE-T je pro modulaci použit mechanismus Grayova kódu pro šestnáct diskretních úrovní [9].



Obr. 1.9: DSQ-128 použit v PAM16 [9].

Tab. 1.1: Grayův kód v PAM16 [9].

Bity (b0b1b2b3)	Hexadecimálně	Úroveň
0100	0x4	+15
0101	0x5	+13
0111	0x7	+11
0110	0x6	+9
0010	0x2	+7
0011	0x3	+5
0001	0x1	+3
0000	0x0	+1
1000	0x8	-1
1001	0x9	-3
1011	0xB	-5
1010	0xA	-7
1110	0xE	-9
1111	0xF	-11
1101	0xD	-13
1100	0xC	-15

2. ETHERNETOVÉ STANDARDY

Některé standardizační organizace v 80. letech zahájili činnost v oblasti sjednocení základních požadavků na technické provedení sítí. Nejvýznamnější pak americký institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství - IEEE. Standardy pro nejznámější síť LAN vytvořené touto organizací jsou uvedeny v tab. 2.1.

Tab. 2.1: Síť LAN.

Standard	Síť
IEEE 802.3	Ethernet
IEEE 802.4	Token Bus
IEEE 802.5	Token Ring
IEEE 802.11	WiFi

Od roku 1983 vytváří IEEE pracovní skupiny, které standardizují Ethernet. Tyto skupiny nesou označení IEEE 802.3 a definují jednotlivé verze. Číslo na začátku je přenosová rychlost. U nejnovějších standardů se uvádí písmeno G (10GBASE – 10Gigabitový). Prostřední část označuje způsob, jakým elektrický signál bude přenášén v základním pásmu. Až na výjimky (např. BROAD) je ve většině případů volen způsob BASE. Koncová část značení slouží ke konkrétnímu určení. Může popisovat jestli jde o Ethernet pro přenos na metalickém vedení (T-Twisted), nebo optickém vedení (F-Fiber). U nejstarších standardů je uvedena koncová část jako samostatné číslo, to určuje maximální délku přenosového média bez použití aktivního prvku. Číslo je stokrát menší (10BASE5 – 500m).

2.1 Prvotní Ethernet

Nejstarší varianty z první poloviny 80.let pracují s rychlostí 10Mbit/s. Na této rychlosti byly standardizovány všechny tři nejpoužívanější přenosová média, tedy koaxiální kabel, kroucená dvojlinka i optický kabel.

- **10BASE-5** - Tzv. tlustý ethernet. Používal pro přenos 1cm tlustý koaxiální kabel zapojený do sběrníkové topologie. Na obou koncích sběrnice musel být připojen terminátor s impedancí 50Ω.
- **10BASE-2** - Tzv. tenký ethernet. Použit byl tenčí koaxiální kabel. Stejně jako u předchozí „tlusté“ verze byla potřeba umístit na konce kabelů terminátory.

Obě verze díky koaxiálnímu kabelu a sběrníkové topologii fungovaly v poloduplexním režimu - nemohli zároveň přijímat a odesílat data. Přenos dat byl postaven na přístupové metodě CSMA/CD.

- **10BASE-T** (skupina IEEE 802.3i) - První standard pro kroucenou dvojlinku. Pro přenos využíval pouze dva páry ze čtyř, maximální délka kabelu byla do 100m. Zavedením kroucené dvojlinky do sítí Ethernet se prakticky přestalo s využíváním koaxiálního kabelu.

- **10BASE-F** (skupina IEEE 802.3j) – První standard pro optický kabel. Ve své době využíváno k páteřním sítím. Díky použití mnohavidových vláken byla maximální vzdálenost kabelů až 2km.

2.2 Fast Ethernet

Pracovní skupina IEEE 802.3u v roce 1995 vytvořila standardy pro desetinásobnou rychlost přenosu - 100Mbit/s. Počítalo se s užitím optických a metalických kabelů různé kvality. 802.3u navíc standardizovala systém automatického nastavení přenosové rychlosti (autonegotiation). Ten umožní koncovým bodům vzájemnou domluvu na jedné podporované variantě spojení [1]. Systém byl vytvořen tak, že se vždy zvolí nejrychlejší varianta, ovšem dnes můžeme přenosovou rychlost nastavit manuálně.

- **100BASE-TX** - Užití dvou párů kroucené dvojlinky cat.5 (do 100MHz).
- **100BASE-T4** - Varianta pro použití starších a levnějších dvojlinek cat.4 (do 10MHz). Zde je ovšem užito všech čtyř párů. V praxi příliš nevyužito [6].
- **100BASE-FX** - Přenos po optických vláknech.
- **100BASE-T2** - Varianta pro dva páry dvojlinky starších cat.3. V praxi se příliš nerozšířila a to z důvodu standardizace v době, kdy již převládala kabeláž cat5.

2.3 Gigabit Ethernet

Gigabitová rychlost byla zavedena v roce 1998 skupinou 802.3z. V tomto roce byl gigabit standardizován pro mnohavidové a jednovidové vlákna. Standard pro metalická vedení byl vyvinut o rok později skupinou 802.3ab. S narůstající rychlostí Ethernetu bylo potřeba případné kolize mezi stanicemi zaznamenávat stále rychleji. To bylo důležité pro přístupovou metodu CSMA/CD. Bylo tedy nutné pozměnit přístupovou metodu a jako nejvhodnější řešení se ukázalo zavedení prepínačů (switche). Prepínače spojují pouze komunikující koncové stanice. Prepínač prakticky nahradil přístupovou metodu [6].

- **1000BASE-SX** - Gigabit Ethernet využívající mnohavidové optické vlákno. Vyvíjen pro páteřní síť do vzdáleností několik set metrů (220 až 550 m).
- **1000BASE-LX** - Gigabit Ethernet pro jednovidové optické vlákno. Určen pro velké vzdálenosti až několika desítek kilometrů.
- **1000BASE-ZX10** - Jednovidové optické vlákno využívající vlnovou délku 1550 nm. Reálně použitelné až do vzdálenosti 70 km.
- **1000BASE-BX10** - Využívá jednovidové optické vlákno v jednom směru s vlnovou délkou 1490 nm (downstream) a 1310 nm (upstream). Použití do vzdálenosti cca 10 km.
- **1000BASE-T** - Definuje užití kabelů cat.5, ale z praktického hlediska je doporučen cat.5e. Změna oproti starším Ethernetům je zapojení všech čtyř párů pro přenos na cat.5 i cat.5e.

2.4 10GEthernet

Navýšení na desetigigabitovou rychlost Ethernetu přes metalická vedení měla za úkol skupina IEEE 802.3an. V době vzniku (rok 2006) se počítalo hlavně k propojení páteřních rozvodů, nebo v datových centrech. V současnosti se ale rozmáhá vývoj komponentů podporující užívání i na vedlejších rozvodech – přímo k uživateli.

- **10GBASE-SR/LR/ER/SW/LW/EW/LX4** - 802.3ae v roce 2003 definovala standardy pro různá optická vedení. Nově je zde definována rozhraní WAN (Wide Area Network) kompatibilní s přenosovou technologií SDH (Synchronní Digitální Hierarchie) [1].
- **10GBASE-T** - Variantu lze aplikovat na standardizované kabelážní systémy cat.5e, cat.6, i cat.7, ale na úkor vzdálenosti. Pro plnohodnotný bezproblémový provoz této rychlosti jsou vhodnější nastupující cat.6A, cat.7 a cat.7A (více o rozdílech kategorií v kapitole 3).

2.5 Současnost

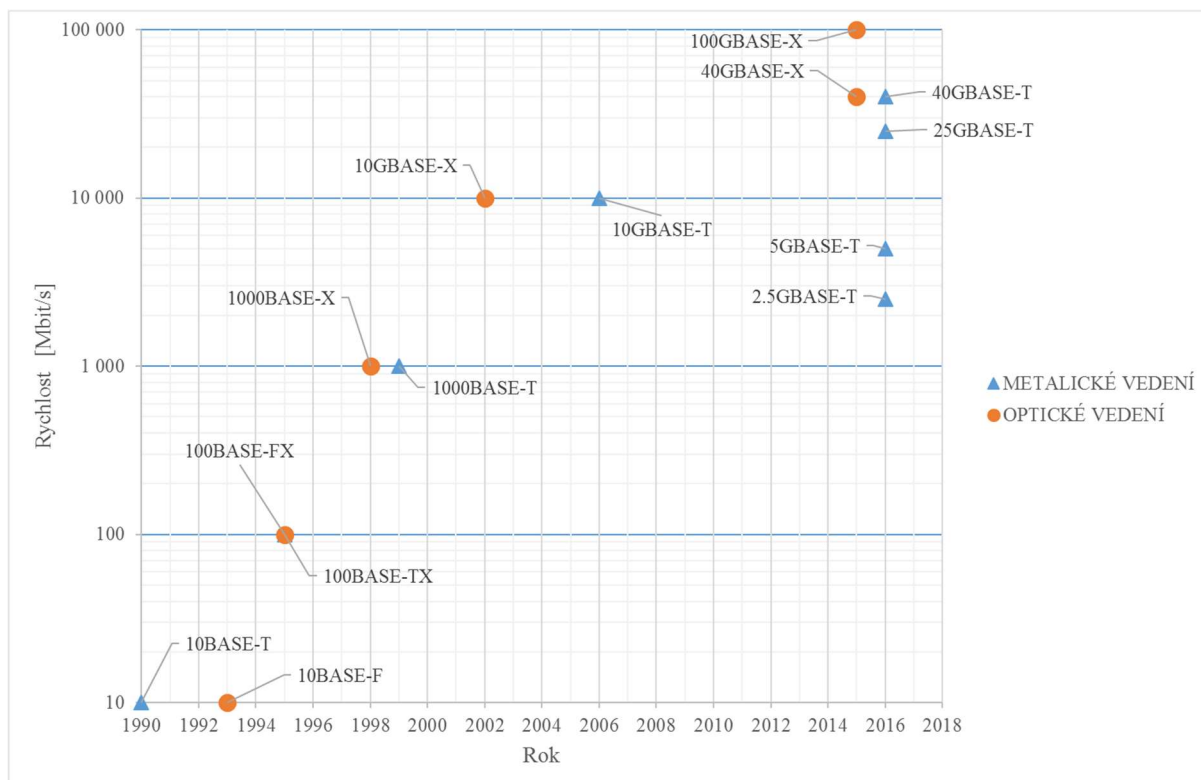
V roce 2016 vznikly dvě skupiny pro rychlosti 25/40Gigabit/s a 2.5/5Gigabit/s.

Ty standardizovali níže uvedené varianty Ethernetu. U obou verzí byl cíl navýšit přenos po metalické kabeláži, první zmíněný převážně pro páteřní rozvody a druhý pro použití na vedlejších (horizontálních) rozvodech.

- **25/40GBASE-T** - Vhodné do datových center. Pro 25Gbit i 40Gbit byl vyvinuta nová kategorie cat.8. Maximální délka kabeláže na tomto standardu je 30m. Počítá se s pouze plně duplexním přenosem a zpětná kompatibilitou se starší generací.
- **2.5/5GBASE-T** - Nejnovější verze. Jeho zavedení je z důvodu mezery mezi Gigabitem a 10Gigabitem. Gigabit je v současnosti využíván pro horizontální kabeláž již více než deset let a 10Gigabit, který není rozšířen na této úrovni podnítl k zavedení standardů v mezeře mezi těmito rychlostmi. Hlavními podporovateli jsou výrobci síťových zařízení Cisco, Intel, Marvell, Broadcom, NXP. Standard je pochopitelně navržen pro horizontální síť na dnes nejrozšířenějších kategoriích cat.5e (pouze 2.5GBASE-T) a cat.6. Vzdálenost přenosu dat je definována na 100m, nezbytnou výhodou je opět zpětná kompatibilita a podpora PoE (Power Over Ethernet), tedy napájení po Ethernetu [10].

V grafu obr. 2.1 je srovnání vývoje technologií pro metalická a optická vedení. Je zřejmé, že vývoj pro optická vlákna je na tom s rychlostními limity lépe, než metalická vedení. O optických vláknech se hovoří jako o přenosovém médiu budoucnosti.

V příloze A.1 je uvedena tabulka se všemi pracovními skupinami IEEE 802.3, které technologie vyvíjeli od nejstarších po ty nejnovější.



Obr. 2.1: Vývoj standardů Ethernetu na metalických a optických vedeních [12].

3. METALICKÉ VEDENÍ V SÍTÍCH

Pro přenos dat na větší vzdálenosti se dnes využívá pouze optických vedení, nebo jsou data přenášena bezdrátově. Pro síť LAN v budovách je nejrozšířenějším typem přenosového média strukturovaná kabeláž UTP. Tento typ prošel vývojem souběžně s vývojem Ethernetu.

3.1 Koaxiální kabel

Nesymetrický kabel rozdělený na vnitřní vodič, vnější vodič a dielektrikum. Vnitřní vodič je měděný, větší kabely mají tento drát dutý. Může být ve formě lanka spleteného z více drátků. Vnější vodič (jinak také stínění) je měděná či hliníková fólie. Existují i opletení měděnými vlákny. Dielektrikum odděluje (izoluje) vnitřní a vnější vodič. Obvykle je zhotoven z polyethylenu.

3.2 Strukturovaná kabeláž

Roku 1990 se poprvé aplikoval nástupce koaxiálního kabelu - symetrický strukturovaný kabel UTP. Metalická vedení využívají pro přenos bitů elektrický signál po dnes již všech čtyřech párech. Kabely jsou z pravidla stavěny do maximální délky přenosu 100 m. Rozdělení kabeláže do kategorií a tříd normovaly instituce jako TIA, ISO, IEC a jiné. Vycházíme z evropského standardu ISO/IEC 11801. Jednotlivé kategorie se liší hlavně v šířce přenosového pásma, ale taky v technice výroby, určení pro konkrétní standard 802.3 a samozřejmě ceny. V tab. 3.1 jsou uvedeny jednotlivé kategorie.

Tab. 3.1: Kategorie strukturované metalické kabeláže [15].

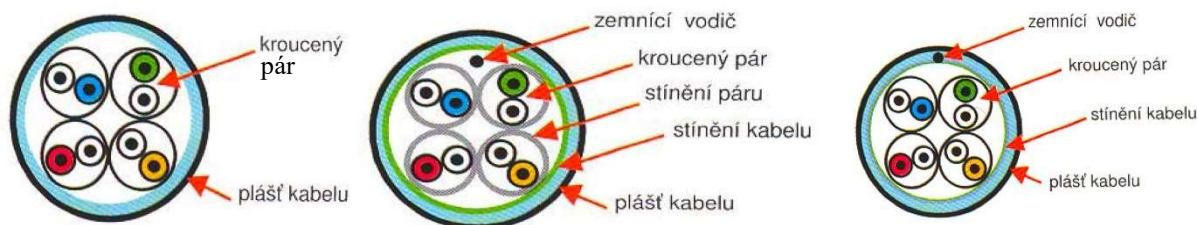
Kategorie	konstrukce	Šířka pásma [MHz]	Využití	Poznámka
Cat 3	UTP	16	10BASE-T, 4 Mb/s	dnes hlavně pro telefony
Cat 4	UTP	20	16 Mb/s	zřídka využito
Cat 5	UTP	100	100BASE-TX, 1000BASE-T	Určen pro Gigabit
Cat 5e	UTP, FTP	100	100BASE-TX, 1000BASE-T	Rozšíření předchozí kategorie, nejpoužívanější typ
Cat 6	UTP, FTP, STP	250	10GBASE-T	10 Gb/s pouze do 55m
Cat 6a	UTP, STP	500	10GBASE-T	Bez omezení délky
Cat 7	STP	600	10GBASE-T	Pouze stíněný
Cat 7a	STP	1000	10GBASE-T	Pouze stíněný

Rozlišujeme také kabely dle druhu stínění:

- **U (Unshielded)** - nestíněné.
- **S (Screened Shielded)** - stíněné opletením.
- **F (Foil Shielded)** - stíněné folií.

Stínění se rozlišuje podle toho, zdali jsou stíněny jednotlivé páry, či celý kabel a jestli je stínění provedeno hliníkovou folií nebo opletením.

- **UTP** - Základní druh Strukturované kabeláže, kde je nestíněný jak pár spletených vodičů, tak celý kabel (Na obr.3.1 levá část).
- **ISTP (Individually Shielded Twisted Pair)** - Stíněný každého páru a celkové stínění kabelu (na obr. 3.1 středová část).
- **FTP (Foil shielded Twisted Pair)** - Stínění jen celého kabelu (na obr.3.1 pravá část).



Obr. 3.1: Druhy stínění kabelů [13].

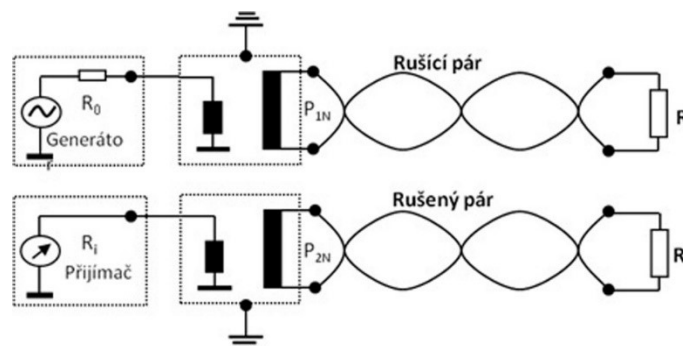
3.3 Kategorie 8

Kromě těchto dnes běžně dostupných kategorií strukturované kabeláže se připravuje nová kategorie 8 pro nejvyšší (40GBASE-T) rychlosti Ethernetu. S využitím se počítá hlavně v datových centrech, čemuž i odpovídá délka segmentu do 30m. Tato kategorie bude kompatibilní s konektory RJ-45, pro přenos bude využívat dvou párů a konstrukci bude mít pouze stíněnou. Šířka přenosového pásma bude 2GHz.

3.4 Hlavní parametry strukturované kabeláže

Během přenosu signálů vznikají díky vzájemné vazbě mezi páry přeslechy. Ty rozdělujeme na přeslechy na blízkém (strana u zdroje signálu) a vzdáleném konci. Při měření těchto parametrů je potřeba zakončit jednotlivé páry kabelů charakteristickou impedancí (cca 100Ω). Princip měření těchto parametrů je uveden na obr. 3.2 a obr. 3.3. Ve standardech se typicky uvádějí hodnoty pro délku 100m.

- **NEXT (Near End Crosstalk)** - přeslech na blízkém konci.



Obr. 3.2: Zapojení pro měření parametru NEXT [20].

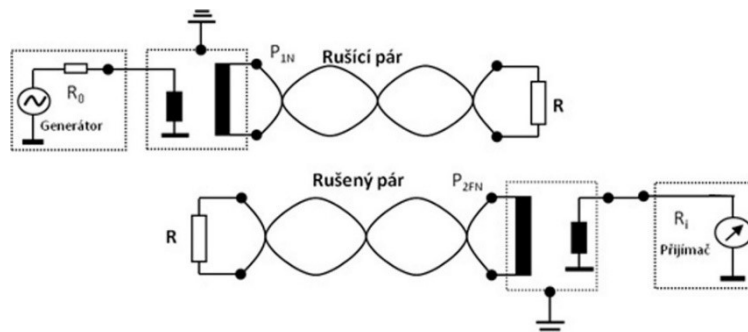
P_{1N} – výkon na vstupu rušeného páru.

P_{2N} – výkon rušeného páru na straně u zdroje signálu (generátoru).

Poměrem těchto výkonů vypočteme samotnou hodnotu parametru dle vztahu:

$$A_{NEXT} = 10 * \log\left(\frac{P_{1N}}{P_{2N}}\right) [dB] \quad (3.1)$$

- **FEXT (Far End Crosstalk)** - přeslech na vzdáleném konci.



Obr. 3.3: Zapojení pro měření parametru FEXT [20].

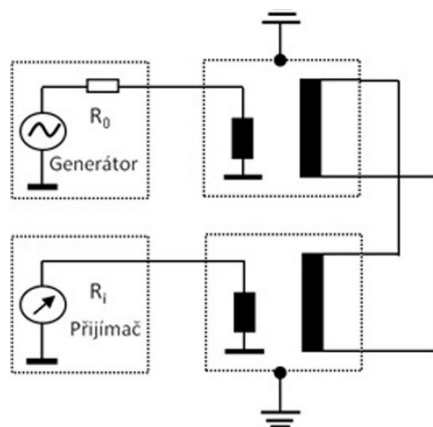
P_{1N} – výkon na vstupu rušeného páru.

P_{2FN} – výkon rušeného páru na vzdálené straně od zdroje signálu (generátoru).

Stejným vztahem jako v případě parametru NEXT získáme hodnotu parametru:

$$A_{FEXT} = 10 * \log\left(\frac{P_{1N}}{P_{2FN}}\right) [dB] \quad (3.2)$$

Další základní parametr symetrického vedení je **Útlum (Attenuation)**. Jde o zeslabení signálu přeneseného kabelem, jinak řečeno jde o schopnost média přenést signál z jedné strany na druhou. Jeho jednotkou je dB.



Obr. 3.4: Zapojení pro měření útlumu[20].

Na obr. vidíme princip měření útlumu na vedení a hodnotu dále můžeme získat ze vztahu:

$$A = 10 * \log \left(\frac{P_{1N}}{P_{2N}} \right) [dB] \quad (3.3)$$

Kde je:

P_{1N} – výkon na vstupu

P_{2N} – výkon na výstupu

Jiné parametry jsou například:

- **PSNEXT (Power Sum NEXT)** - Vypočtená hodnota, jedná se o vliv NEXT na každý pár s ohledem na ostatní tři páry [14].
- **ELFEXT (Equal Level FEXT)** - Odstraňuje závislost na délce linky.
- **Zpoždění (Delay)** - Čas potřebný k přenosu signálu ze začátku segmentu na jeho konec. Zpoždění je hlavním důvodem omezení délky segmentu [14].
- **Rozdíl zpoždění signálu (Delay Skew)** - Rozdíl zpoždění na nejrychlejším a nejpomalejším páru. Význam má u vyšších rychlostí.
- **ACR (Attenuation to Crosstalk Ratio)** - Rozdíl mezi přeslechem na blízkém konci a útlumem, počítá se pro každý pár. V jednotkách dB.
- **Šířka pásma (Bandwidth)** - Maximální frekvence, kterou lze pro přenos daným kabelem použít.

3.5 Informační propustnost

Vyjadřuje jak velká část informace je nezbytná pro přenos a jak velká část jsou chtěná přenesená data. Na fyzické vrstvě informační propustnost vyjadřuje maximální možnou přenosovou rychlost datového toku. Je dána úrovní přenášeného signálu, útlumem kanálu a šumu. Výchozí informací je hodnota poměru signálu k šumu, která je frekvenčně závislá.

Teoretickou informační propustnost lze stanovit podle Shannonova teorému [11]. Jeli signál v základním pásmu, informační propustnost bude v bit/s dána vztahem:

$$C_i = \int_0^B \log_2 \left(1 + \frac{S(f)}{N(f)} \right) df \quad [Bit/s] \quad (3.4)$$

Kde je:

B - šířka pásma v Hz

S(f) - spektrální hustota výkonu přijímaného signálu

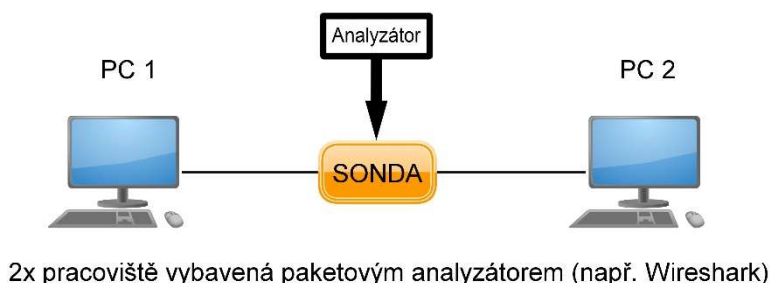
N(f) - spektrální hustota výkonu šumu na vstupu přijímače

4. KONCEPCE A REALIZACE LABORATORNÍ ÚLOHY

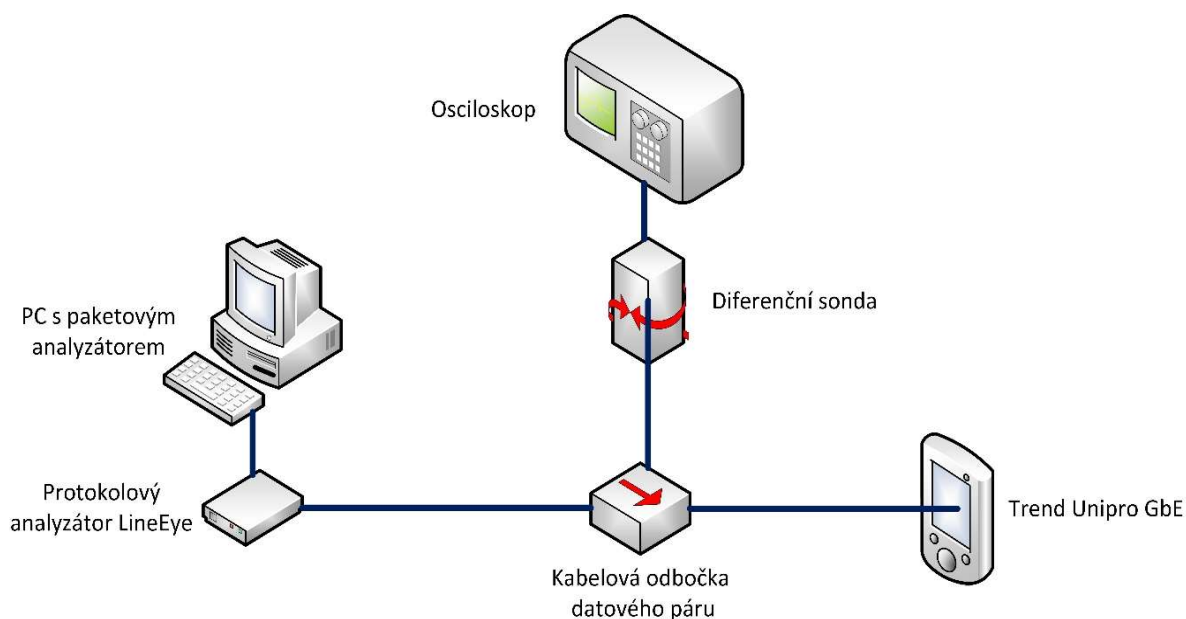
Koncepce laboratorní úlohy má za cíl demonstrovat funkčnost technologie Ethernet. Na praktických ukázkách student samostatně analyzuje a ověří principy přenosu dat na Ethernetové sběrnici. Další účelem je ukázka principu měření základních parametrů strukturované kabeláže. Při návrhu, odzkoušení a následné realizaci návodu k jednotlivým úkolům laboratorní úlohy bylo vycházeno z teoretických znalostí popsanych v předchozích kapitolách. Kromě samotné demonstrační funkce ověří i studentovy schopnosti práce s laboratorní technikou.

4.1 Zachycení provozu včetně analýzy paketu

Na základě konceptu obr. 4.1 byly určeny jednotlivé laboratorní prvky pro realizaci. Z prvotní koncepce se však ustoupilo v několika bodech.



Obr. 4.1: Koncept pracoviště pro analýzu paketů.



Obr. 4.2: Reálné zapojení pracoviště pro analýzu paketů.

Tester Trend Unipro GbE

A handheld network scanner device, the Trend Unipro GbE model. It has a teal-colored protective rubberized case. The device features a small monochrome screen at the top displaying 'PAGE 1' and some network-related data. Below the screen is a keypad with a central directional pad and several function buttons. On the right side, there are two RJ45 ports for network connectivity. The device is shown at an angle, highlighting its rugged design.

Oscilloskop Tektronix MSO4034B

Hlavním kritériem pro použití byla funkce dekódování Ethernetové sběrnice, kterou model MSO4034B splňuje. Dekódovány mohou být standardy 10BASE-T a 100BASE-TX. Pro úkol využijeme pomalejší standard. Mimo Ethernet dokáže zobrazit a dekódovat různé typy sběrnic jako je například USB, I2C, SPI, RS-232 atd.

Diferenční Sonda TDP0500

Pro správné zobrazení signálu je dalším nezbytným komponentem diferenční sonda. Zvolena byla Vysokonapěťová diferenční sonda TDP0500 od firmy Tektronix. Útlum této testovací sondy je v poměrech 5:1 a 50:1, šířka pásma 500MHz. Nastavit můžeme šířku pásma a rozsah.



Obr. 4.4: Diferenční sonda TDP0500 [19].

Analyzátor LAN sítě LineEye - LE-580FX

Propojení počítače a zbytku malé testovací sítě je realizováno analyzátozem Line Eye – LE-580FX. Jeho výhodou je vstup do PC přes rozhraní USB a tím pádem plní funkci jakési externí síťové karty. Mezi vlastnosti tohoto zařízení patří například ověřování přítomnosti protokolů sítě LAN, provozní analýza sítě, generování testovacích paketů, určení QoS parametrů (ztrátovost rámců, zpoždění) [17].

Počítačová aplikace Wireshark

Oblíbená multiplatformní aplikace Wireshark slouží ke kontrole sítě, kdy dokáže uživateli analyzovat problémy díky možnosti vidět veškerý provoz na síťových rozhraních. Zná velké množství síťových protokolů. Zachycení dat navíc může být různě filtrováno dle potřeb uživatele. Zachytává provoz na různých typech sítí, mimo Ethernet například 802.11 (Wi-Fi).

Kabelová odbočka datového páru

Z osciloskopu je potřeba připojení na datový pár kabelové trasy mezi počítačem a HW testerem, na kterém běží Ethernetová sběrnice. V tabulce 4.1 jsou uvedeny provozní podmínky na jednotlivých vodičích běžného kabelu UTP.

Tab. 4.1: provoz na jednotlivých vodičích standardu 10BASE-T a 100BASE-TX.

Pin	10 BASE-T 100 BASE-TX	Barevné značení
1.	Transmit +	bílo-oranžový
2.	Transmit -	oranžový
3.	Receive +	bílo-zelený
4.	/	modrý
5.	/	bílo-modrý
6.	Receive-	zelený
7.	/	bílo-hnědý
8.	/	hnědý

Dle tabulky 4.1 tedy volíme bílo-oranžový/oranžový pár, na kterém běží vysílání dat. Samotná realizace odbočky je vidět na obr. 4.5.



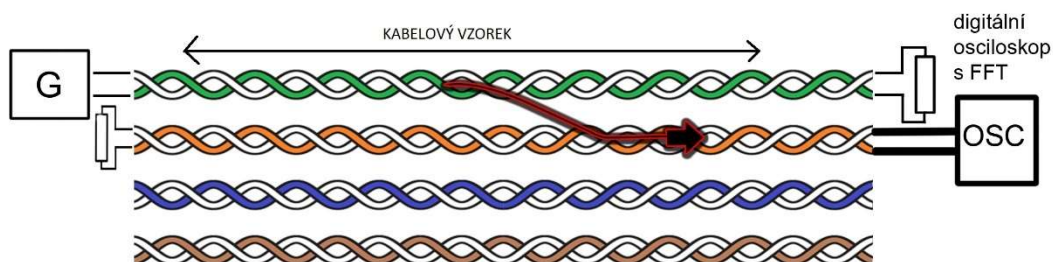
Obr. 4.5: Kabelová odbočka datového páru.

4.2 Měření útlumu a přeslechu na vedení strukturované kabeláže

K měření parametrů strukturované kabeláže dnes existují různé přístroje (např. pomocí Multi LAN 350), avšak tato měření jsou automatizovaná a student na konci měření netuší, na jakém principu měřené hodnoty přístroj získal. Druhý úkol laboratorní úlohy tedy bude měření základních parametrů strukturované kabeláže. Opět se vycházelo z teoretických znalostí uvedených v předchozích kapitolách. Oproti původnímu konceptu na obr. 4.6 se při realizaci příliš neodběhlo. Bylo potřeba vyřešit problém se zakončovacími impedancemi jednotlivých párů kabelu. Problém by také nastal při přímém propojení generátoru a osciloskopu, kdy bychom nezískali požadované hodnoty útlumu. Z tohoto důvodu byl vybrán konektor Molex 85793-1012 se specifickým vnitřním zapojením vyhovující potřebám tohoto úkolu. S tímto konektorem byl navržen a realizován propojovací prvek ve formě plošného spoje.

Signál je veden z generátoru do propojovacího prvku a z něj do osciloskopu přes kabely zakončené konektory BNC (Bayonet Neill–Concelman).

Kabelové vzorky, na kterých se bude provádět měření jsou tři. První vzorek je kabelová trasa učebny, kde je měření realizované (v tomto případě učebna SC5.34 budovy T12 areálu FEKT). Druhý a třetí vzorek jsou krátké kabely do 1m délky (jeden se stíněním). Důležité je uvést, že odborná měření probíhají na trasách standardně délky cca 100m. Tento úkol má za cíl pouze ukázat princip měření, nikoli získat přesné hodnoty odpovídající hodnotám tabulkovým.



Obr. 4.6: Koncept měření přeslechu.

Generátor Tektronix AFG3101

Pro měření úkolu je zapotřebí generování signálů v řádech desítek MHz. Byl zvolen generátor firmy Tektronix AFG3101. Jedná se o generátor s kmitočtovým pásmem 1mHz až 100MHz. Standardně dokáže generovat sinusový, trojúhelníkový, obdélníkový průběh. Zvládá různé typy modulací i různé průběhy (spojitý, modulovaný atd.). Výstupní úroveň je možná v rozmezí 10 mV_{pp} až 10 V_{pp}. Je vybaven barevným displejem a má vstup na USB.

Osciloskop Tektronix MSO4034B

Pro zobrazení signálu útlumů, ale i pro zobrazení signálu vstupujícího do kabelu (pro kontrolu) byl opět volen Osciloskop Tektronix MSO4034B, který je před měřením uveden do defaultního nastavení.

Propojovací deska

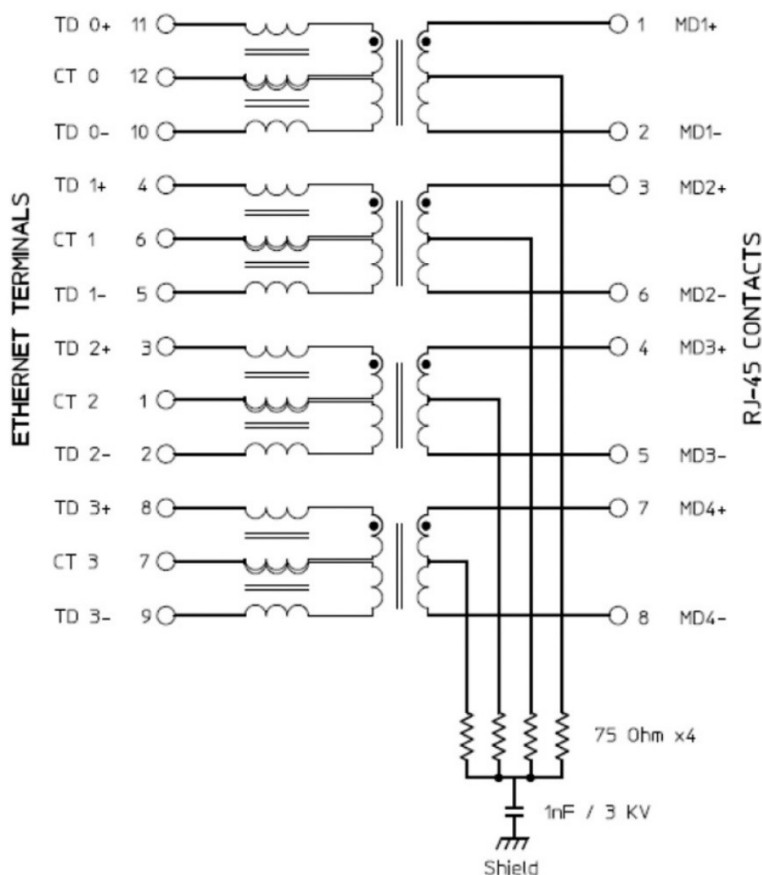
K připojení měřeného kabelového vzorku bylo potřeba navrhnout plošný spoj s konektory Molex 86793-1012 (RJ-45) a konektory BNC pro připojení na generátor a osciloskop. Deska byla navržena v editoru plošných spojů EAGLE. Konektor označený BNC 3. je veden na stejný datový pár konektoru Molex, který bude připojen z druhého konektoru Molex na BNC 2. Vyhotovená deska je vidět na obr. 4.7. V příloze A.2 se nachází schéma a osazovací plán.



Obr. 4.7: Propojovací deska.

Konektor Molex 85793-1012

Tento typ konektoru byl vybrán pro svá zakončovací trať, bez kterých by nebylo možné realizovat měření přeslechů a útlum. Vnitřní zapojení včetně číslování pinů je vidět na obr. 4.8.



Obr. 4.8: Schéma vnitřního zapojení konektoru Molex [18].

4.3 Měření s automatizovanými testery sítí

Na trhu existuje velké množství různých typů měřících přístrojů určené pro měření datových sítí. Od jednoduchých s nízkou pořizovací cenou, až po sofistikované přístroje s vysokou cenou.

V tomto úkolu se student bude seznamovat s kabelovým testerem. Pomocí přiloženého originálního návodu prostuduje a prakticky si vyzkouší práci s ním. Testovat bude tři kabelové vzorky stejné jako ve druhém úkolu.

CableIQ Qualification Tester

Pro svoji jednoduchost byl zvolen tester firmy Fluke Networks CableIQ Qualification Tester. Ten je schopen změřit rychlost (propustnost) kabeláže až do Gigabitu. Dále zvládá měření délky, dokáže určit zkratky, nezakončení či rozpojené páry. Díky přehlednému displeji zobrazí výsledky velice intuitivně.



Obr. 4.9: Tester CableIQ Qualification [16].

5. LABORATORNÍ NÁVOD

Laboratorní úloha seznamuje studenty s technologií Ethernet a základními parametry přenosových metalických vedení. Je rozdělena do tří úkolů.

5.1 Seznámení s úlohou

Úkol 1. - Zachycení provozu na Ethernetové sběrnici a následná analýza Ethernetového paketu

Cíl: Zobrazení provozu na osciloskopu, který následně provede (po patřičném nastavení) analýzu Ethernetového paketu. Student tedy uvidí signálovou podobu této technologie.

Úkol 2. - Měření útlumu a přeslechů na blízkém a vzdáleném konci (NEXT, FEXT)

Cíl: Ukázat studentům jednoduchým principem měření základních parametrů metalických kabeláží.

Úkol 3. - Měření s kabelovým kvalifikačním testerem

Cíl: Student si prakticky zkusí měření kabeláže automatizovaným měřicím zařízením.

Vybavení pracoviště:

- Počítač s nainstalovaným programem pro analýzu a zachytávání paketů *Wireshark*
- Protokolový analyzátor LAN sítě *LineEye - LE-580FX*
- Kabel UTP s vyvedeným datovým párem
- Vysokonapěťová Diferenční Sonda *Tektronix TDP0500*
- Osciloskop *Tektronix MSO4034B*
- Ethernetový tester *Trend Unipro GbE*
- Propojovací deska s konektory *Molex RJ45*
- Měřené vzorky kabelů (1.vzorek - kabelová trasa učebny, délka cca 57m; 2.vzorek - kabel kategorie 5e, délky 0.9m; 3.vzorek - stíněný kabel, délka 0,7m)
- BNC kabely a rozdvojka

5.2 Teoretický úvod

Ethernet definuje technologie pro provoz místních počítačových sítí (LAN). V síťovém referenčním modelu OSI/ISO se vyskytuje na dvou nejnižších vrstvách, tedy na spojové a fyzické. Na Spojové vrstvě je přidána datovému rámci MAC adresa, ten je následně předán vrstvě fyzické. Zde se data převedou na elektrický signál a odeslána na přenosové médium.

7 bajtů (10101010...)	preamble
1 bajt (10101011)	SFD, začátek rámce
6 bajtů	cílová MAC adresa
6 bajtů	zdrojová MAC adresa
2 bajty T/L	pole Typ/Délka
46 - 1500 bajtů dat	datové pole rámce
4 bajty CRC	zabezpečení cyklickým kódem
12 bajtů IFG	mezirámcová mezera

Obr. 5.1: Ethernetový rámec.

Ethernetový rámec

Na obrázku vidíme uspořádání *Ethernetového rámce* (šedá část). Směr přenosu jednotlivých bitů na přenosové médium probíhá od prvního řádku, proces vysílání pak v pořadí od nejméně významného bitu ve směru odprava doleva, směrem dolů.

PREAMBULE - Dříve sloužila k synchronizaci mezi vysílačem a přijímačem. U novějších standardů zbytečná, ale zůstává z důvodu zpětné kompatibility.

SFD (Start Frame Delimiter) - Identifikátor začátku rámce.

MAC (Media Access Control) - Jedinečný identifikátor zařízení. Známý taky jako fyzická adresa. Jde o 48 bitové adresní pole, zapsáno v hexadecimálním tvaru. V Ethernetovém rámci je obsažena vždy nejdříve MAC adresa cíle a následně adresa zdroje. Ve zdrojové MAC adrese je vždy pouze typ adresy UNICAST. Broadcastové vysílání, kdy jsou data vysílána všem koncovým zařízením obsahuje samé jedničky.

TYP A DÉLKA RÁMCE (T/L) - Pokud je celková hodnota ≤ 1500 jedná se o délku. Pokud jde o hodnotu ≥ 1536 jedná se o typ (typ protokolu vyšší vrstvy – původní rámec Ethernetu).

DATOVÉ POLE (payload) - Minimální délka je 46 bajtů a maximální 1500 bajtů.

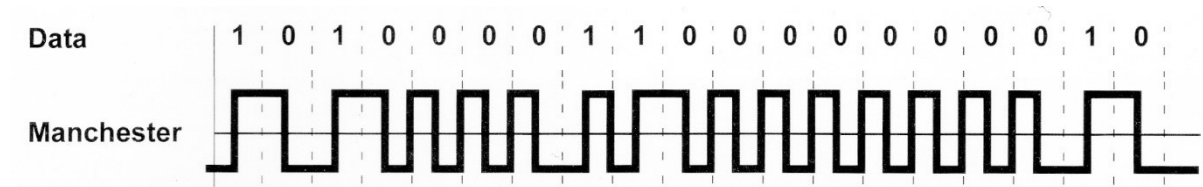
ZABEZPEČENÍ CYKICKÝM KÓDEM - Jedná se o cyklický redundantní součet FCS (Frame Check Sequence). Ten zajišťuje detekci poškozených rámců.

MEZIRÁMCOVÁ MEZERA IFG (InterFrame Gap) - 12ti bajtová mezi-rámcová mezera.

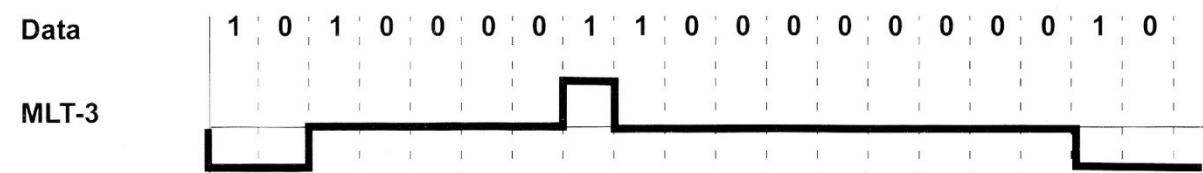
Linkové kódování u přenosu metalickým vedením

Přiřazuje konkrétní elektrické průběhy bitům Ethernetového rámce. S vývojem standardů se měnilo i používání kódování.

Kód **MANCHESTER** - Použití u verzí 10Mbit/s. Jde o skokový přechod (log.1) od napětí nižšího k napětí vyššímu. U log. 0 je situace opačná, jde o sestupnou hranu.



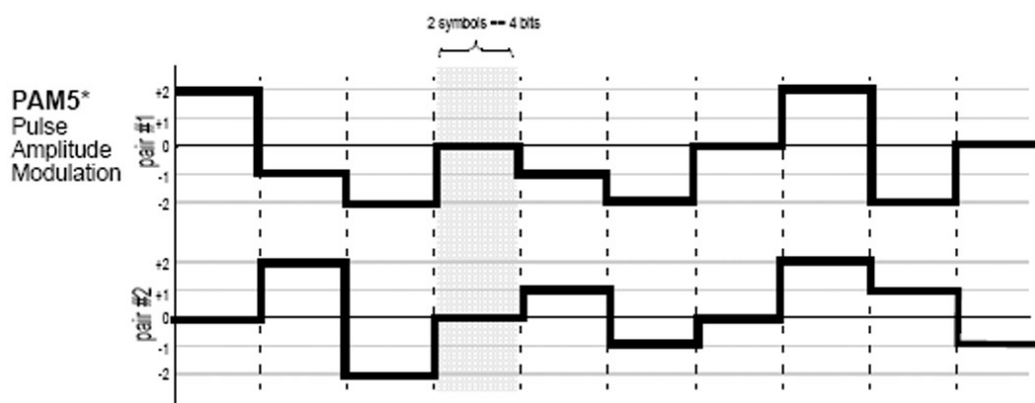
Obr. 5.2: Kód Manchester.



Obr. 5.3: MLT-3 kód.

Kódování **MLT3 (Multi-Level Transition)** - Pracuje se třemi úrovněmi (+, 0, -). Každá změna signálu může reprezentovat více než jeden bit (kód Manchester každý bit reprezentoval změnou úrovně signálu). Kvůli velké robustnosti je ale přenášeno více bitů, než kolik by bylo nezbytně potřeba. Bit navíc vylepšuje možnosti detekce signálu.

Kódování pomocí **PAM (Pulzní Amplitudová Modulace)** - Nejnovější verze Ethernetu využívají různé stupně této modulace.



Obr. 5.4: Pulzní amplitudová modulace.

Standardy Ethernetu

Organizace IEEE Ethernet definuje ve svém standardu 802.3 od 80.let.

10BASE-5 - Prvotní verze fungující na koaxiálním kabelu o rychlosti 10 Mbit/s.

10BASE2 - Verze na tenkém koaxiálním kabelu o rychlosti 10 Mbit/s.

10Base-T - První Standard pro kroucenou dvojlinku s rychlostí 10 Mbit/s. Využívá dva páry strukturované kabeláže ze čtyř.

10Base-F - Varianta pro optické kabely s rychlostí 10 Mbit/s. Hlavní využití měla pro tzv. Páteřní síť.

100Base-TX - Varianta s rychlostí 100 Mbit/s, které se říká Fast Ethernet, využívá dva páry UTP nebo STP kabelu kategorie 5.

100Base-T2 - Využívá dva páry UTP kategorie 3, 4, 5. Vhodná varianta pro starší rozvody strukturované kabeláže.

100Base-T4 - Využití čtyř párů UTP kategorie 3, 4, 5. Opět vhodná pro starší rozvody strukturované kabeláže.

100Base-FX - Fast Ethernet pro optické kabely.

1000Base-T - Ethernet s rychlostí 1000 Mbit/s, znám jako Gigabit Ethernet. Využívá všechny 4 páry UTP kabeláže kategorie 5, 5e, 6 nebo 7, je definován na vzdálenosti 100 metrů. Verze **TX** pro kabeláž kategorie 6, 7.

1000Base-SX - Gigabit Ethernet využívající mnohavidové optické vlákno. Vytvořen pro páteřní síť do vzdáleností několik set metrů (220 až 550 m).

1000Base-LX - Gigabit Ethernet pro jednovidové optické vlákno. Určen pro velké vzdálenosti až několika desítek kilometrů.

1000Base-ZX10 - Jednovidové optické vlákno využívající vlnovou délku 1550 nm. Reálně použitelné až do vzdálenosti 70 km.

1000Base-BX10 - Využívá jednovidové optické vlákno v jednom směru s vlnovou délkou 1490 nm (downstream) a 1310 nm (upstream). Použití do vzdálenosti cca 10 km.

10GBASE-SR/LR/ER/SW/LW/EW/LX4 - 802.3ae v roce 2003 definovala standardy pro různá optická vedení. Nově je zde definována rozhraní WAN (Wide Area Network) kompatibilní s přenosovou technologií SDH (Synchronní Digitální Hierarchie).

10GBASE-T - Variantu lze aplikovat na standardizované kabelážní systémy cat.5e, cat.6, i cat.7, ale na úkor vzdálenosti. Pro plnohodnotný bezproblémový provoz této rychlosti jsou vhodnější nastupující cat.6A, cat.7 a cat.7A.

25/40GBASE-T - Vhodné do datových center. Pro 25Gbit i 40Gbit byl vyvinuta nová kategorie cat.8. Maximální délka kabeláže na tomto standardu je 30m. Počítá se s pouze plně duplexním přenos a zpětná kompatibilitou se starší generací.

2.5/5GBASE-T - Nejnovější verze. Jeho zavedení je z důvodu mezery mezi Gigabitem a 10Gigabitem. Gigabit je v současnosti využíván pro horizontální kabeláž již více než deset let a 10Gigabit, který není rozšířen na této úrovni podnítl k zavedení standardů v mezeře mezi těmito rychlostmi.

V roce 2015 byl vydán standard pro rychlost 100/40 Gbit/s a v roce 2017 se očekává standard pro rychlost 400Gbit/s na optická vedení.

Strukturovaná kabeláž

Nástupcem koaxiálního kabelu na trasách Ethernetu se stal symetrický strukturovaný kabel UTP. Rozdělení kabeláže do kategorií a tříd normovaly instituce jako TIA, ISO, IEC a jiné. Vycházíme z evropského standardu ISO/IEC 11801.

Tab. 5.1: Kategorie strukturované metalické kabeláže.

Kategorie	konstrukce	Šířka pásma [MHz]	Využití	Poznámka
Cat 3	UTP	16	10BASE-T, 4 Mb/s	dnes hlavně pro telefony
Cat 4	UTP	20	16 Mb/s	zřídka využito
Cat 5	UTP	100	100BASE-TX, 1000BASE-T	Určen pro Gigabit
Cat 5e	UTP, FTP	100	100BASE-TX, 1000BASE-T	Rozšíření předchozí kategorie, nejpoužívanější typ
Cat 6	UTP, FTP, STP	250	10GBASE-T	10 Gb/s pouze do 55m
Cat 6a	UTP, STP	500	10GBASE-T	Bez omezení délky
Cat 7	STP	600	10GBASE-T	Pouze stíněný
Cat 7a	STP	1000	10GBASE-T	Pouze stíněný

Jednotlivé kategorie se liší hlavně v šířce přenosového pásma, ale taky v technice výroby, určení pro konkrétní standard 802.3 a samozřejmě ceny. V tab. 5.1 jsou uvedeny jednotlivé kategorie.

Druhy stínění

UTP - Základní druh Strukturované kabeláže, kde je nestíněný jak pár spletených vodičů, tak celý kabel.

ISTP (Individually Shielded Twisted Pair) - Stíněný každého páru a celkové stínění kabelu.

FTP (Foil shielded Twisted Pair) - Stínění jen celého kabelu.

Základní parametry strukturované kabeláže

Útlum (Attenuation) - Jde o zeslabení signálu přeneseného kabelem. Jeho jednotkou je dB.

NEXT (Near End Crosstalk) - Přeslech na blízkém konci.

FEXT (Far End Crosstalk) - Přeslech na vzdáleném konci.

PSNEXT (Power Sum NEXT) - Vypočtená hodnota, jedná se o vliv NEXT na každý pár s ohledem na ostatní tři páry.

ELFEXT (Equal Level FEXT) - Odstraňuje závislost na délce linky.

Zpoždění (Delay) - Čas potřebný k přenosu signálu ze začátku segmentu na jeho konec. Zpoždění je hlavním důvodem omezení délky segmentu.

Rozdíl zpoždění signálu (Delay Skew) - Rozdíl zpoždění na nejrychlejších a nejpomalejších páru. Význam má u vyšších rychlostí.

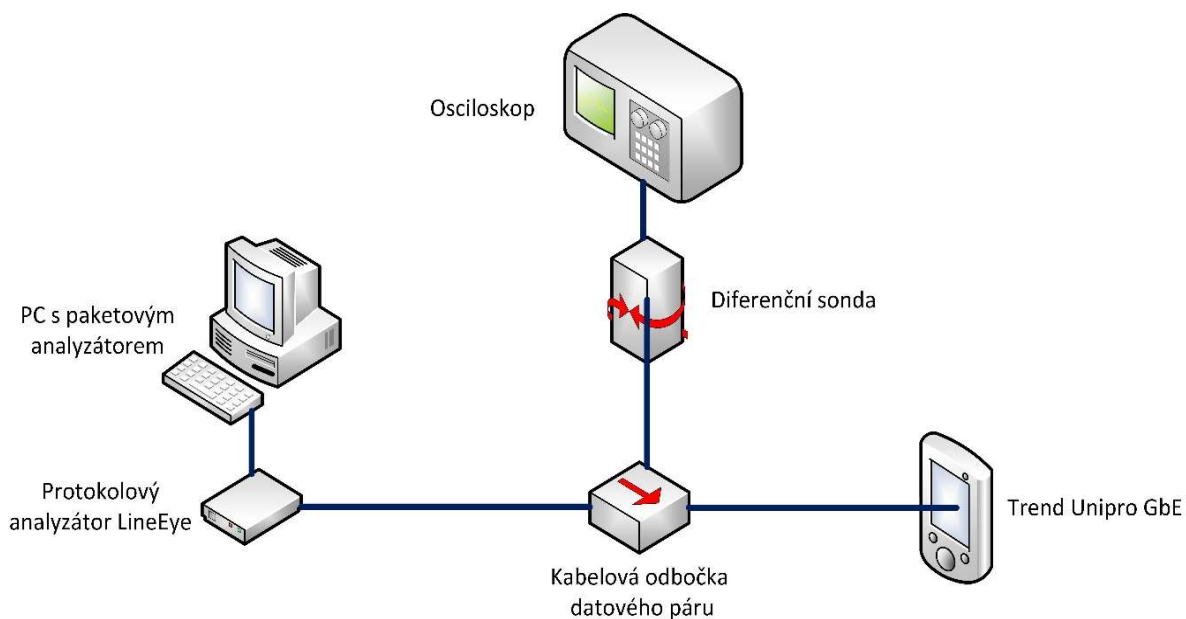
ACR (Attenuation to Crosstalk Ratio) - Rozdíl mezi přeslechem na blízkém konci a útlumem, počítá se pro každý pár. V jednotkách dB.

Šířka pásma (Bandwidth) - Maximální frekvence, kterou lze pro přenos daným kabelem použít.

5.3 Úkol 1. Zachycení provozu na Ethernetové sběrnici a následná analýza Ethernetového paketu

Postup:

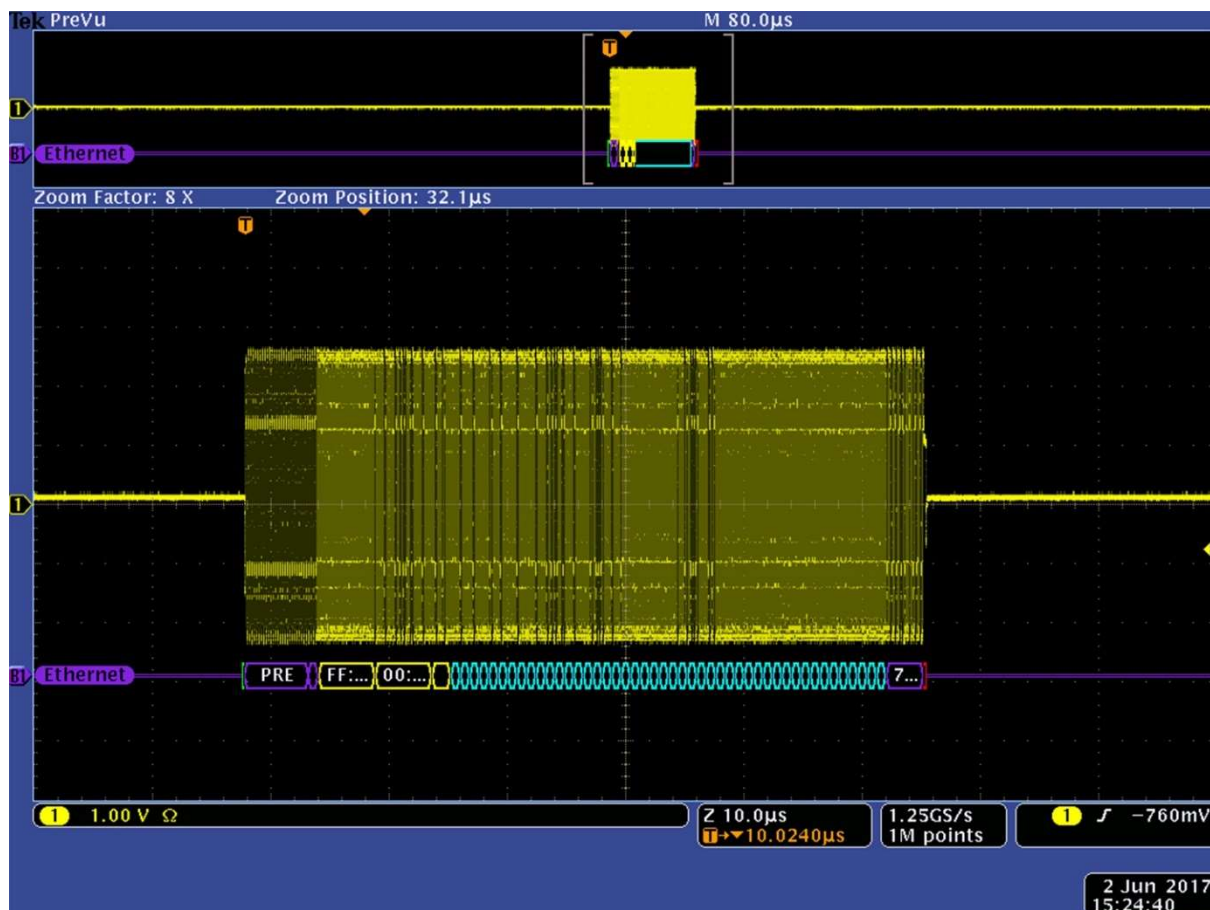
1. Zapojte úkol dle obr. 5.5.
2. Spusťte počítač, Trend Unipro GbE tester (spouštěcí tlačítko na levé boční straně) a osciloskop.



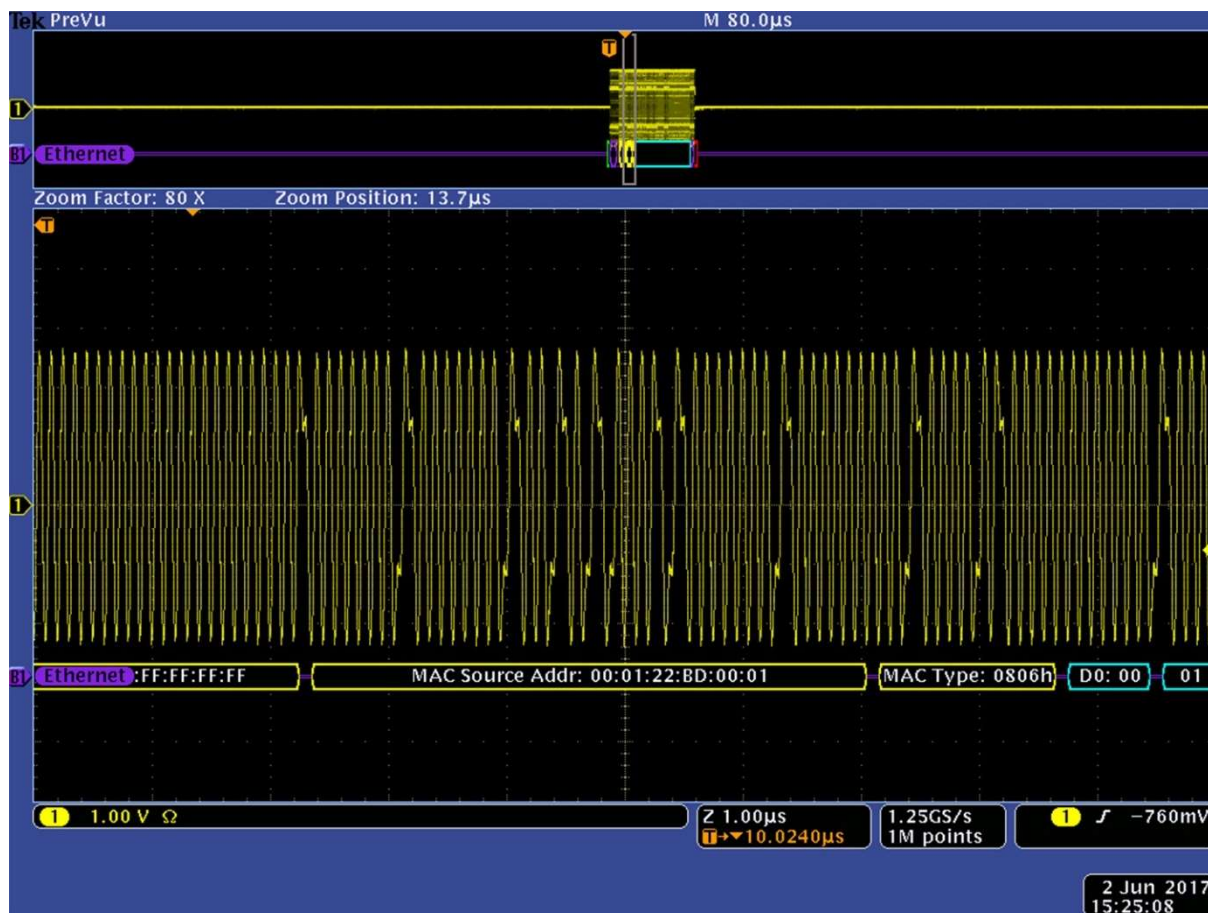
Obr. 5.5: Zapojení pracoviště pro analýzu paketů.

3. Na Trend Unipro GbE testeru zvolte: *General Config* → *OK* → *Mode* → *OK* → *Endpoint* → *OK*.
4. Dále také: *Port 1* → *OK* → *AutoNeg* → *OK* → *Speed* → *OK* → *10BT* → *OK*
(Vyjedeme do hlavního menu stiskem 3x *CANCEL*).
Pozn. - Tímto jsme zajistili 10Mbitový provoz na sběrnici, který budeme sledovat.
5. Na počítači spustíme program Wireshark. Zvolíme: *Capture Interfaces* → *USB 2.0 Gbit Eth.Adapter* → *Start*.
6. Uvedeme osciloskop do defaultního nastavení (stiskem tlačítka na spodní hraně *Default Setup*). Na Sondě přepneme rozsah na 4,25V.
7. Dále nastavujeme: *Acquire* → *Record Length* → *1M* (navolíme pomocí *Multipurpose a*). Tlačítkem *Menu Off* vypneme nabídku.
8. *Trigger Level* posuneme lehce pod úroveň zobrazeného signálu a stiskem *Single* jsme připraveni k zachycení Ethernetového paketu.
9. Na Trend Unipro GbE testeru spustíme *Ping*.
10. Na osciloskopu bychom měli vidět zachycený provoz, který teď budeme analyzovat.

11. Zobrazený signál si zmenšíme (ideálně na 1V) a zvolíme: *Bus B1* → *Bus* (levý dolní okraj obrazovky) → *Ethernet* → *Menu off*.
12. Nyní je potřeba změnit typ analyzovaného Ethernetu na 10BASE-T. *Define Inputs* → *10BASE-T. Signal Type* → *Differential*.
13. Pokud se signál neanalyzoval, je potřeba změnit prahové napěťové úrovně. *Threshold* → *High 1.46V / Low - 1V*. Zobrazená analýza by měla odpovídat obrázku 5.6.



a)



b)

Obr. 5.6: Zobrazení a) Ethernetového paketu b) MAC adresy.

14. Uložit snímek na USB Flash disk lze následovně: *Menu* → *Add screenshot*.
15. V posledním bodě překontrolujte pomocí programu *Wireshark*, že zde uvedené MAC adresy zdroje i cíle se shodují s adresy analyzovanými na osciloskopu.

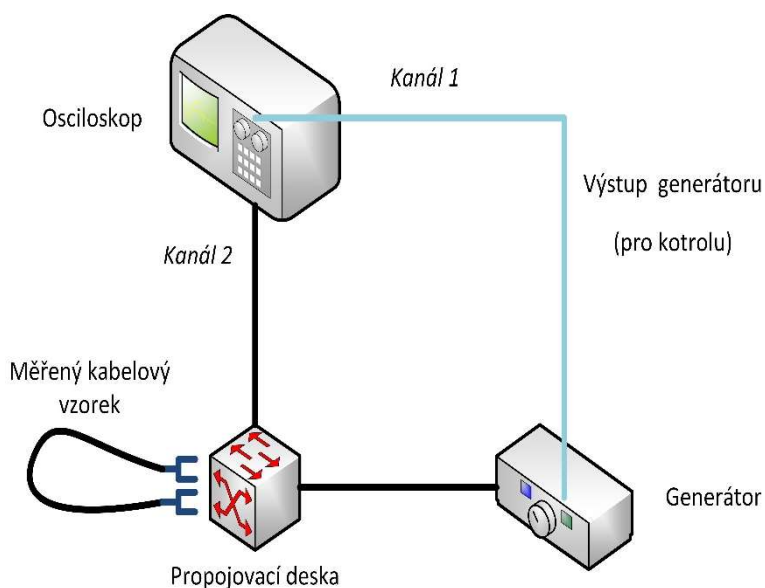
Kontrolní otázky:

- O jaký typ linkového kódování se jedná? Překreslete část zobrazeného signálu a naznačte bitové rozložení signálu.
- MAC adresa cíle je ve formátu FF:FF:FF:FF:FF:FF. Co to znamená?

5.4 Úkol 2. Měření útlumu a přeslechů na blízkém a vzdáleném konci (NEXT, FEXT)

Postup:

1. Do propojovací desky připojíme 1.kabelový vzorek (trasa učebny).
2. Propojíme BNC 2. (viz obr. 5.8) s rozdvojkou připojenou na výstupu generátoru. Druhý konec rozdvojkou připojíme na první kanál osciloskopu (pouze pro kontrolu signálu z generátoru).
3. BNC 3. připojíme na druhý kanál osciloskopu.



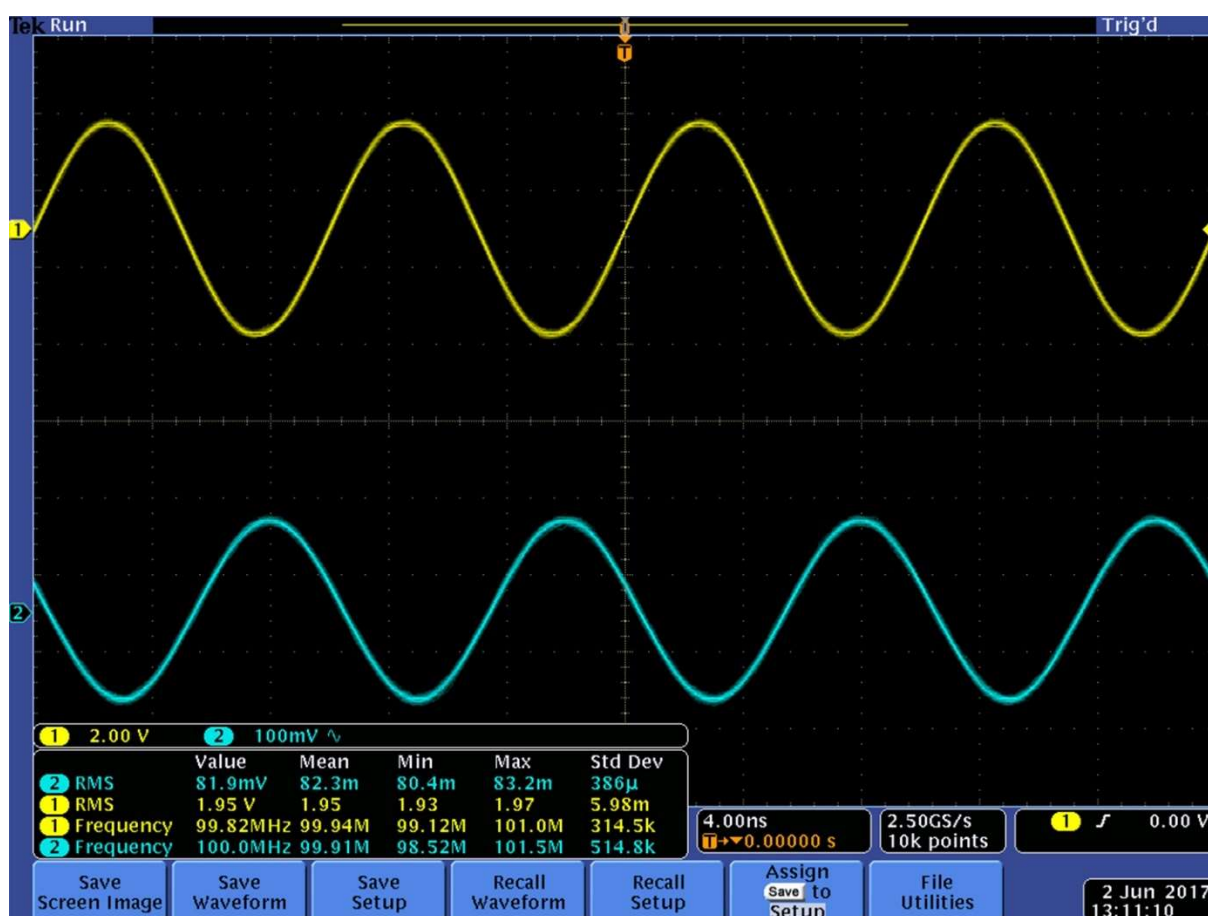
Obr. 5.7: Zapojení pracoviště pro měření přeslechů.



Obr. 5.8: Propojovací deska.

4. Nyní máme zapojení pro měření útlumu (Attenuation). Osciloskop uvedeme do defaultního nastavení a aktivujeme kanál 1.

5. Nastavíme si měření: *Measure* → *Add measure* → *Measure type* → *RMS* → *OK Add*. V levém dolním okraji se nám objeví měření efektivní hodnoty napětí prvního kanálu.
6. Obdobně nastavíme frekvenci: *Measure* → *Add measure* → *Measure type* → *Frequency* → *OK Add*.
7. Aktivujeme kanál 2. Podle bodů 5. a 6. nastavíme měření i pro druhý kanál.
8. Nabídky vždy ukončujeme stiskem *Menu off*.
9. Zapneme generátor. Hodnoty výstupu nastavíme: *Frequency* → *Frequency* a nastavíme první hodnotu (100MHz). Dále nastavíme výstupní hodnotu efektivního napětí: *Amplitude* → *More 1 of 2* → *Units* → V_{RMS} . Stiskem šipky v pravém dolním okraji se vrátíme do základního menu a dále pokračujeme: *Amplitude* → *Amplitude* → $1 V_{RMS}$.
10. Aktivujeme výstup generátoru. Na osciloskopu bychom měli vidět obdobné měření jako na obr. 5.9. Po každé změně (výměna kabelového vzorku, změna hodnot) stiskneme *Autoset*!



Obr. 5.9: Zobrazení útlumu vedení.

11. Nyní dle vztahu pro útlumu vypočteme hodnotu a zaznamenejme ji do tab. 5.2.

$$A = 10 * \log\left(\frac{P_{IN}}{P_{OUT}}\right) [dB] \quad (5.1)$$

12. Výkon P_{IN} je hodnota vstupující do rušeného páru. Spočítáme ji ze vztahu 5.2. A stejným vzorcem spočítáme hodnotu P_{OUT} , což je výkon na konci rušeného páru. Impedanci zvolíme 100Ω (typická zakončovací impedance).

$$P = \frac{(U_{RMS})^2}{Z} [W] \quad (5.2)$$

Tab. 5.2: Tabulka pro výsledky měření úkolu 2.

Frekvence [MHz]	útlum [dB]	NEXT [dB]	FEXT [dB]
100			
75			
50			
10			

13. Měření přeslechu na blízkém konci (NEXT) změříme stejným způsobem, ovšem výstup z generátoru připojíme na BNC 1. a kabel spojující desku s osciloskopem přepneme na BNC 2.
14. Měření přeslechu na vzdáleném konci (FEXT) změříme stejně, jen osciloskop připojíme na BNC 3.
15. Změřené a vypočtené hodnoty si zaznamenávejte do zmíněné tab. 5.2 (celkem tři tabulky pro jednotlivé měřené vzorky).

Kontrolní otázky:

- Jakým způsobem vznikají přeslechy mezi páry?
- Víte jaká je šířka přenosového pásma u nejnovějších kabelových kategorií?

5.5 Úkol 3. Měření s kabelovým kvalifikačním testerem

Postup:

1. Prostudujte a seznamte se (dle přiloženého návodu) s ovládáním testeru FLUKE networks cable IQ. Ovládání je velice jednoduché, určeno i pro začínající techniky.
2. Tři kabelové vzorky proměřte a zjistěte, zdali splňují standardní podmínky.
3. Výsledky měření zaznamenejte do tab. 5.3.

Tab. 5.3: Tabulka pro výsledky měření úkolu 3.

			Ethernetové Standardy			
kabelový vzorek	Stínění	Délka [m]	10BASE-T	100BASE-TX	1000BASE-T	VoIP
trasa učebny						
krátký 1.						
krátký 2.						

Kontrolní otázky:

- Některé páry jsou v kabelech delší než ostatní. Jaký to má důvod?

Seznam použitých zkratk:

LAN	Local Area Network
OSI/ISO	International Standards Organization Open Systems Interconnection
MAC	Medium Access Control
SFD	Start Frame Delimiter
IFG	Inter Frame Gap
MLT3	Multi-Level Transition
PAM	Pulzní Amplitudová Modulace
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
UTP	Unshielded Twisted Pair
FTP	Foil shielded Twisted Pair
STP	Shielded Twisted Pair
ISTP	Individually Shielded Twisted Pair
NEXT	Near End Crosstalk
FEXT	Far End Crosstalk
PSNEXT	Power Sum NEXT
ELFEXT	Equal Level FEXT
ACR	Attenuation to Crosstalk Ratio
BNC	Bayonet Neill–Concelman

Použití literatura:

- BOHÁČ, Leoš a Pavel BEZPALEC. *Komunikace v datových sítích*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03536-0.
- ČEJPOV, Vlastimil a Tomáš ČEJPOV. *Ethernet - Historie vzniku technologie Ethernet* [online]. [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://site.the.cz/index.php?id=24>.
- IEEE. *802.3-2015 - IEEE Standard for Ethernet*. 2015. Dostupné z: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.3-2015.html>

ZÁVĚR

V této práci byla nejdříve sepsána teoretická definice o rozsáhlé technologii Ethernetu. Byla popsána architektura vyskytující se na fyzické a linkové vrstvě, detail přenosu Ethernetových rámců (paketů) a linkové kódování dat. V další části byla vytvořena rešerše standardů Ethernetu pro metalická vedení dle norem IEEE, od nejstarších po nejnovější. V příloze A.1 jsou uvedeny všechny pracovní skupiny 802.3. Z této rešerše vyplívá, že technologie prochází neustálým vývojem. S využitím teoretických poznatků byla navržena laboratorní úloha, která je pro přehlednost rozložena do tří samostatných úkolů. K těmto jednotlivým úkolům byl sepsán podrobný návod, jsou zde uvedeny i důležité teoretické základy. Celá pátá kapitola tedy slouží jako samostatný laboratorní návod (protokol).

V prvním úkolu byl zachytáván Ethernetový paket a ten následně analyzován. Z výsledku lze říci, že demonstrační funkci první úkol splňuje, jelikož zobrazované výsledky Ethernetové sběrnice jsou velice přehledné a osciloskop signál přesně rozděluje na jednotlivé části paketu. Druhý úkol má za cíl ukázat princip měření základních parametrů strukturované metalické kabeláže, kterou využívá Ethernet. Po úvodní koncepci úlohy byla navržena a realizována propojovací deska na plošném spoji (návrh v programu Eagle je uveden v příloze A.2). Tato deska lehce ovlivňuje výsledky měření svou citlivostí. V příloze A.3 jsou uvedeny referenční hodnoty tohoto měření. Z výsledků vyplývá, že charakteristiky mají podobný tvar s lehkými výkyvy.

Poslední úkol pracuje s automatizovaným měřícím přístrojem. Práce s ním byla velice jednoduchá, po nastudování přiloženého návodu. Tabulka výsledků měření s tímto zařízením je také uvedena v příloze A.3.

LITERATURA

- [1.] BOHÁČ, Leoš a Pavel BEZPALEC. *Komunikace v datových sítích: cvičení*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03536-0.
- [2.] ČEJPOV, Vlastimil a Tomáš ČEJPOV. *Ethernet - Historie vzniku technologie Ethernet* [online]. [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://site.the.cz/index.php?id=24>.
- [3.] PETERKA, Jiří. *Stomegabitový Ethernet*. PC WORLD [online]. 2007, 2007(1) [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/b07/b0100001.php3>
- [4.] *Trend's Gigabit Ethernet - Pocket Guide* [online]. Berkshire, UK: Trend Communications Ltd., 2005 [cit. 2016-11-20]. Ref: 700701 03 03.06. Dostupné z: http://www.interlab.pl/pliki/295_GbEnet_quick_ref.pdf
- [5.] IEEE. *802.3-2015 - IEEE Standard for Ethernet*. 2015. Dostupné z: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.3-2015.html>
- [6.] HORÁK, Jaroslav a Milan KERŠLÁGER. *Počítačové sítě pro začínající správce*. 5., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3176-3.
- [7.] IEEE. *Guidelines for Use Organizationally Unique Identifier (OUI) and Company ID (CID)*. Dostupné také z: <http://standards.ieee.org/develop/regauth/tut/eui.pdf>
- [8.] IEEE. *Standard Group MAC Addresses: A Tutorial Guide*. Dostupné také z: <http://standards.ieee.org/develop/regauth/tut/macgrp.pdf>
- [9.] JAIN, Nikhil. *PAM & Ethernet: A perfect match*. EDN Network [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://www.edn.com/electronics-blogs/absolute-eda/4441982/PAM---Ethernet--A-perfect-match>
- [10.] COONEY, Michael. *IEEE sets new Ethernet standard*. Network World [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://www.networkworld.com/article/3124948/lan-wan/ieee-sets-new-ethernet-standard-that-brings-5x-the-speed-without-disruptive-cable-changes.html>
- [11.] VODRÁŽKA, Jiří. *Teoretická informační propustnost účastnických přípojek* [online]. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01031/index.html#zaver>
- [12.] *IEEE 802.3 ETHERNET WORKING GROUP* [online]. IEEE. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://www.ieee802.org/3/>

- [13.] FILKA, Miloslav. *Přenosová média*. V Brně: VUT FEKT, 2012 [cit. 2016-12-14]. ISBN 978-80-214-4444-7.
- [14.] ŠKORPIL, Vladislav. *Přístupové a transportní sítě*. v Brně: VUT FEKT, 2012 [cit. 2016-12-14]. ISBN 978-80-214-4457-7.
- [15.] *TrendUnipro GbE - Datasheet* [online]. [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: http://www.livingston-products.com/products/pdf/148462_1_en.pdf
- [16.] *CableIQ Qualification Tester - Users Manual* [online]. [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: <http://www.fluketestery.cz/produkty/pdf/cableIQ-um.pdf>
- [17.] *LineEye - LE-580FX* - [online]. [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: <http://www.trinstruments.cz/data/files/le580fx-cataloge-677.pdf>
- [18.] *Product specification for hyperjack 1000 base-t 1x1 magnetic connector* [online]. [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: http://www.molex.com/pdm_docs/ps/PS-85793-001-001.pdf
- [19.] *TDP0500 - Oscilloscope Probe - newark.com* [online]. [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: <http://www.newark.com/tektronix/tdp0500/tekvpi-high-voltage-differential/dp/23M9705>
- [20.] VODRÁŽKA, Jiří a Petr JAREŠ. *Sdělovací kabelové rozvody budov* [online]. České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická [cit. 2017-06-07]. Dostupné z: http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/074.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

LAN	Local Area Network
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
ISO/OSI	International Standards Organization Open Systems Interconnection
LLC	Logical Link Control
MAC	Medium Access Control
AUI	Attachment Unit Interface
MII	Medium Independent Interface
GMII	Gigabit Medium Independent Interface
PLS	Physical Layer Signalling
PMA	Physical Medium Attachment
PCS	Physical Coding Sublayer
PMD	Physical Medium Dependent
MAU	Medium Attachment Unit
MDI	Medium Dependent Interface
SFD	Start Frame Delimiter
OUI	Organizationally Unique Identifier
FCS	Frame Check Sequence
IFG	InterFrame Gap
MLT3	Multi-Level Transition
UTP	Unshielded Twisted Pair
STP	Shielded Twisted Pair
PAM	Pulzní Amplitudová Modulace
THP	Tomlinson-Harashima Precoded
WAN	Wide Area Network
SDH	Synchronní Digitální Hierarchie
PoE	Power Over Ethernet
ISTP	Individually Shielded Twisted Pair
FTP	Foil shielded Twisted Pair
NEXT	Near End Crosstalk
FEXT	Far End Crosstalk
PSNEXT	Power Sum NEXT
ELFEXT	Equal Level FEXT
ACR	Attenuation to Crosstalk Ratio
IP	Internet Protocol
FFT	Fast Fourier transform
USB	Universal Serial Bus
I ² C	Inter-Integrated Circuit
SPI	Serial Peripheral Interface
QoS	Quality of Service
BNC	Bayonet Neill–Concelman

SEZNAM PŘÍLOH

A	PŘÍLOHY	53
A.1	Pracovní skupiny 802.3	53
A.2	Schéma propojovací desky a osazovací plán.....	55
A.3	Výsledky měření	56
B	OBSAH PŘILOŽENÉHO CD	60

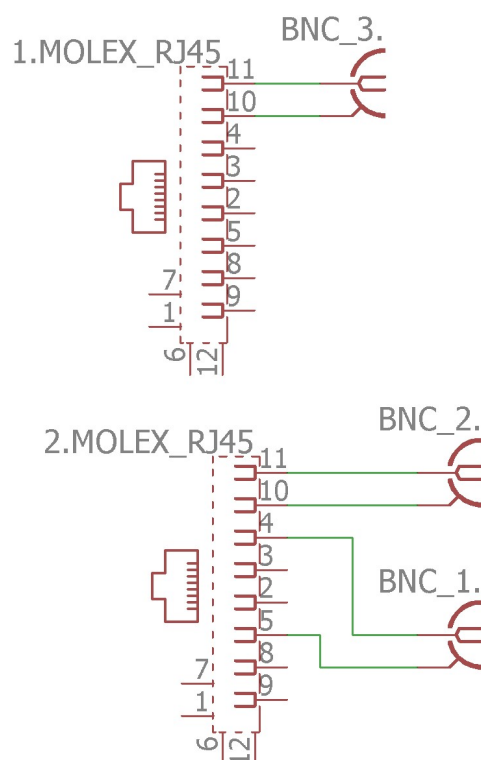
A PŘÍLOHY

A.1 Pracovní skupiny 802.3

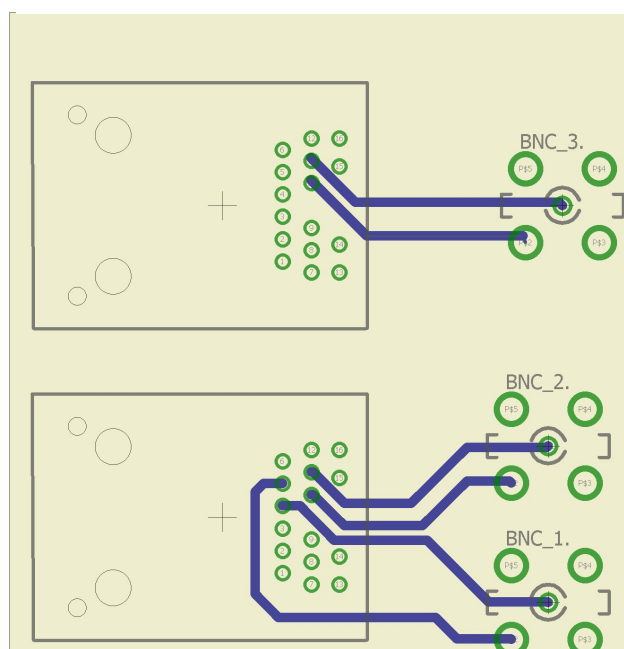
Experimental Ethernet	1973	2.94 Mbit/s (367 kB/s) přes koaxiální kabel	prvotní Ethernet
Ethernet II	1982	10 Mbit/s (1.25 MB/s) přes tzv. „tlustý koaxiální kabel“. Tento typ je využíván ve všech formách Ethernetových protokolů TCP/IP.	
IEEE 802.3 standard	1983	10BASE5 10 Mbit/s (1.25 MB/s) přes tzv. „tlustý koaxiální kabel“. Založeno na procesu CSMA/CD.	10 Megabit Ethernet
802.3a	1985	10BASE2 10 Mbit/s (1.25 MB/s) přes tzv. „tenký koaxiální kabel“ (neboli 10Base2)	
802.3b	1985	10BROAD36	
802.3c	1985	10 Mbit/s (1.25 MB/s), specifikace pro opakovací	
802.3d	1987	FOIRL - specifikace Ethernetu přes optické vlákno. Výměna specifikací 10BASE-FL.	
802.3e	1987	1BASE5 nebo StarLAN	
802.3i	1990	10BASE-T 10 Mbit/s (1.25 MB/s) přes kroucenou dvoulinku.	
802.3j	1993	10BASE-F 10 Mbit/s (1.25 MB/s) přes optické vlákno.	
802.3u	1995	100BASE-TX, 100BASE-T4, 100BASE-FX Fast Ethernet v 100 Mbit/s (12.5 MB/s)	Fast Ethernet
802.3x	1997	Plně duplexní režim a je zde řízení toku dat.	
802.3y	1998	100BASE-T2 100 Mbit/s (12.5 MB/s) přes méně kvalitní kroucenou dvoulinku.	
802.3z	1998	1000BASE-X Gbit/s Ethernet přes optické vlákno v 1 Gbit/s (125 MB/s)	Gigabitový Ethernet
802.3-1998	1998	Revize základních norem.	
802.3ab	1999	1000BASE-T Gbit/s Ethernet přes kroucenou dvoulinku v 1 Gbit/s (125 MB/s)	
802.3ac	1998	Rozšíření maximální velikosti rámce na 1522 bajtů.	
802.3ad	2000	Agregace pro paralelní vazby.	
802.3-2002	2002	Revize základních norem.	
802.3ae	2002	10 Gbit/s (1,250 MB/s) Ethernet přes vlákno; 10GBASE-SR, 10GBASE-LR, 10GBASE-ER, 10GBASE-SW, 10GBASE-LW, 10GBASE-EW	10 Gigabit Ethernet
802.3af	2003	Power over Ethernet - PoE (12,95W)	
802.3ah	2004	Ethernet in the First Mile	
802.3ak	2004	10GBASE-CX4 10 Gbit/s (1 250 MB/s) Ethernet přes twinaxiální kabel.	
802.3-2005	2005	Revize základních norem.	
802.3an	2006	10GBASE-T 10 Gbit/s (1 250 MB/s) Ethernet přes nestíněné UTP.	
802.3ap	2007	Backplane Ethernet (1 a 10 Gbit/s (125 a 1 250 MB/s) přes plošné spoje)	
802.3aq	2006	10GBASE-LRM 10 Gbit/s (1 250 MB/s) Ethernet přes vícevidové optické vlákno	

P802.3ar	<i>zrušeno</i>	metody řízení zahlcení v Ethernetu	
802.3as	<i>2006</i>	Rozšíření rámce	
802.3at	<i>2009</i>	Vylepšení PoE (25.5 W)	
802.3au	<i>2006</i>	Izolace požadavků na Power Over Ethernet (802.3-2005/Cor 1)	
802.3av	<i>2009</i>	10 Gbit/s EPON	
802.3aw	<i>2007</i>	Zafixování rovnice v 10GBASE-T publikaci (vydáno jako 802.3-2005/Cor 2)	
802.3-2008	<i>2008</i>	Revize základních norem zahrnující změny 802.3an/ap/aq/as	
802.3az	<i>2010</i>	Energy-efficient Ethernet (Green Ethernet) společnost D-Link	
802.3ba	<i>2010</i>	40 Gbit/s and 100 Gbit/s Ethernet. 40 Gbit/s na jeden metr sběrnice.	100 Gigabit Ethernet a budoucnost
802.3-2008/Cor 1	<i>2009</i>	Zvýšení PAUSE reakční doby dostačující pro 10 Gbit/s.	
802.3bc	<i>2009</i>	Přesun a aktualizace TLV Ethernetu (typ, délka, hodnoty).	
802.3bd	<i>2010</i>	Řízení toku dat podle priority.	
802.3.1	<i>2011</i>	MIB definice pro Ethernet.	
802.3bf	<i>2011</i>	Poskytnutí přesných údajů o přenosu některých paketů, důležitých pro podporu IEEE P802.1AS.	
802.3bg	<i>2011</i>	Poskytnutí 40 Gbit/s PMD, který je opticky kompatibilní s jednojádrovým optickým vláknem.	
802.3-2012	<i>2012</i>	Revize základních norem zahrnující změny 802.3at/av/az/ba/bc/bd/bf/bg.	
802.3bj	<i>2014</i>	100 Gbit/s až na 5 m po měděném twinax kabelu • 100 Gbit/s v rámci backplane.	
802.3bk	<i>2013</i>	Tato změna IEEE Std 802.3 definuje specifikace fyzické vrstvy a parametry pro řízení pro provoz EPON na point-to-multipoint pasivních optických sítí podporujících rozšířenou působnost třídy PX30, PX40, PRX40 a PR40 PMDS.	
802.3bm	<i>2015</i>	100G/40G Ethernet pro optické vedení	
802.3bp	<i>2016</i>	1000BASE-T1 Gigabit Ethernet po jediném páru, například v automobilovém průmyslu.	
802.3bq	<i>2016</i>	25/40GBASE-T pro 4 páry kroucené dvojlinky pro délku 30m	
802.3bs	<i>2017</i>	400 Gbit/s Ethernet přes optické vlákno po 25G/50G trasách	
802.3bt	<i>2017</i>	PoE vylepšení na 100W s využitím všech 4 párů, vylepšená podpora IoT aplikací (osvětlení, senzory, automatizace)	
802.3bw	<i>2015</i>	100BASE-T1 – 100 Mbit/s Ethernet over a single twisted pair for automotive applications	
802.3-2015	<i>2015</i>	Revize základních norem	
802.3by	<i>2016</i>	Optical fiber, twinax and backplane 25 Gigabit Ethernet[6]	
802.3bz	<i>2016</i>	2.5 Gigabit a 5 Gigabit Ethernet po Cat-5/Cat-6 kroucené dvojlince – 2.5GBASE-T and 5GBASE-T	
802.3cd	<i>2018</i>	Parametry MAC pro 50Gb/s, parametry fyzické vrstvy pro 50Gb/s, 100Gb/s - 200Gb/s	

A.2 Schéma propojovací desky a osazovací plán



Obr. A.1: Schéma zapojení propojovací desky.



Obr. A.2: Osazovací plán propojovací desky.

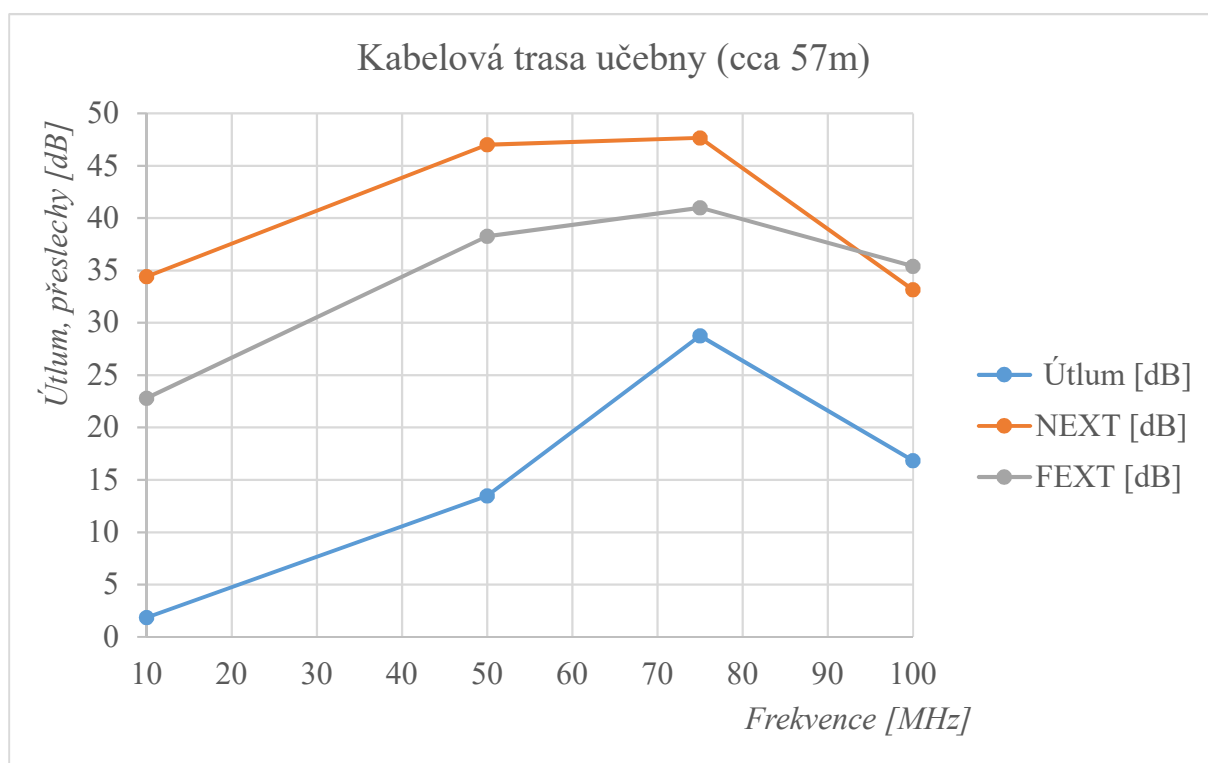
A.3 Výsledky měření

Úkol 2.

Pro kabelový vzorek 1. (trasa učebny, délka cca 57m).

Tab. A.1: Výsledky měření vzorku 1.

Frekvence [MHz]	Útlum [dB]	NEXT [dB]	FEXT [dB]
100	16,823	33,152	35,391
75	28,761	47,656	40,984
50	13,465	46,991	38,276
10	1,855	34,403	22,808

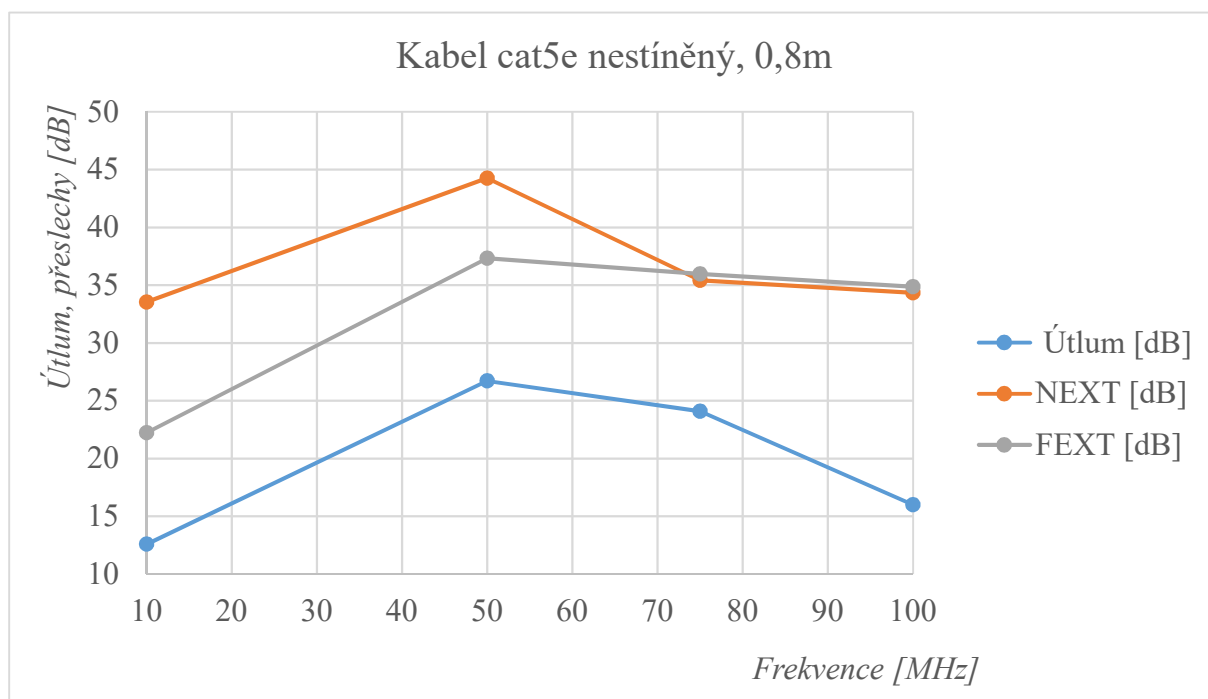


Obr. A.3: Graf závislosti přeslechů a útlumu na frekvenci pro měřený vzorek 1.

Pro kabelový vzorek 2. (nestíněný, délka cca 0,8m).

Tab. A.2: Výsledky měření vzorku 2.

Frekvence [MHz]	Útlum [dB]	NEXT [dB]	FEXT [dB]
100	16,001	34,347	34,875
75	24,082	35,418	35,987
50	26,716	44,261	37,326
10	12,584	33,550	22,246

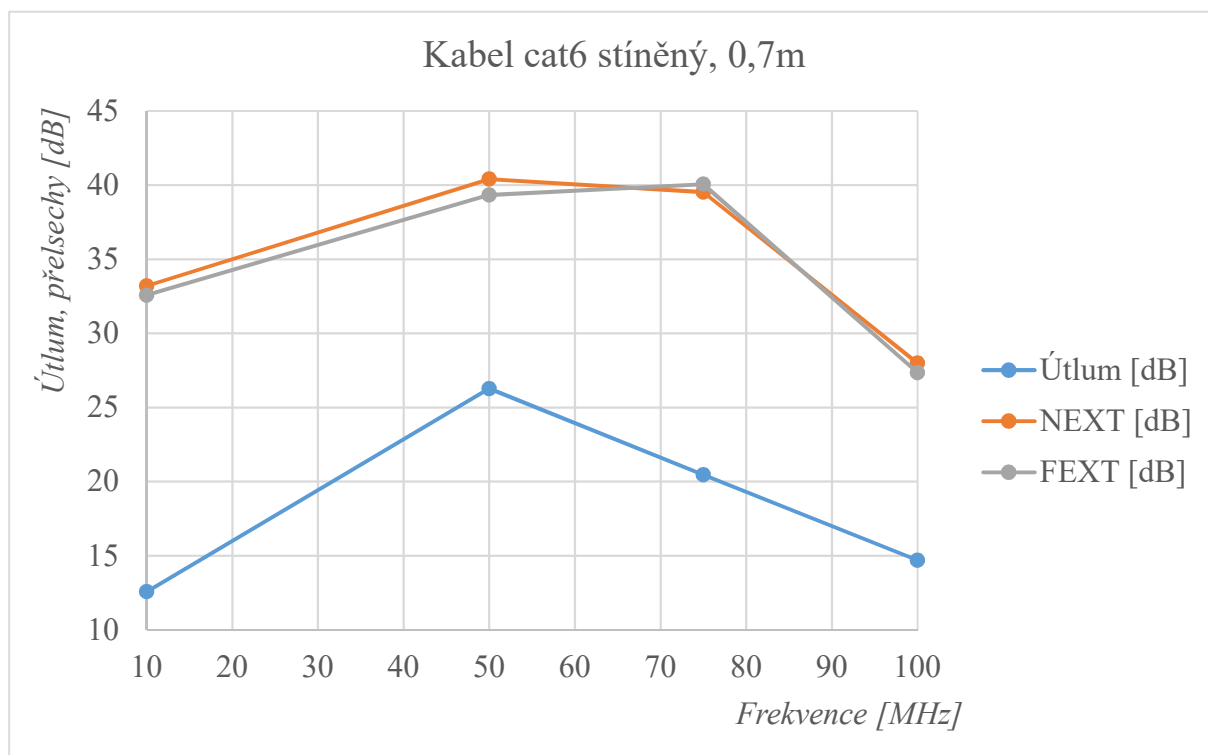


Obr. A.4: Graf závislosti přeslechů a útlumu na frekvenci pro měřený vzorek 2.

Pro kabelový vzorek 3. (stíněný, délka cca 0,7m).

Tab. A.3: Výsledky měření vzorku 3.

Frekvence [MHz]	Útlum [dB]	NEXT [dB]	FEXT [dB]
100	14,694	27,993	27,344
75	20,470	39,537	40,062
50	26,281	40,407	39,344
10	12,568	33,196	32,571



Obr. A.5: Graf závislosti přeslechů a útlumu na frekvenci pro měřený vzorek 3.

Úkol 3.

Tab. A.4: Výsledky měření úkolu 3. (kvalifikační tester Fluke).

			<i>Ethernetové Standardy</i>			
kabelový vzorek	Stínění	Délka [m]	10BASE-T	100BASE-TX	1000BASE-T	VoIP
trasa učebny	X	56,9	✓	✓	✓	✓
vzorek 2.	X	0,8	✓	✓	✓	✓
vzorek 3.	✓	0,7	✓	✓	✓	✓

B OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

Na disku CD se nachází dva soubory.

1. BP_Vitecek_164436.pdf - elektronická verze bakalářské práce ve formátu PDF.
2. deska.zip - ZIP archiv s Eagle soubory návrhu plošného spoje.